

Fjärrvärmeanslutna byggnaders värme- och varmvattensystem – samverkan, komfort och sårbarhet

Per-Olof Johansson

Licentiatavhandling

Avdelningen för Energihushållning
Institutionen för Energivetenskaper
Lunds Tekniska Högskola
Lunds Universitet



Fjärrvärmeanslutna byggnaders värme- och varmvattensystem

– samverkan, komfort och sårbarhet

Per-Olof Johansson



LUNDS UNIVERSITET

2007

Avdelningen för Energihushållning
Institutionen för Energivetenskaper
Lunds Tekniska Högskola
Lunds Universitet
www.vok.lth.se

© Per-Olof Johansson 2007

ISRN LUTMDN/TMHP--07/7052--SE
ISSN 0282-1990

Lund 2007

SAMMANFATTNING

Då människor i Sverige tillbringar en stor del av sin tid inomhus, är kraven på väl fungerande värme- och tappvarmvattensystem höga. Eftersom fjärrvärme är den klart dominerande uppvärmningskällan i flerbostadshus och lokaler i Sverige är det viktigt att gränssnittet mellan fjärrvärme och de husinterna värmesystemen är väl fungerande för att uppnå de komfortkrav som finns från brukare och de byggregler som föreskrivs av myndigheter. Gränssnittet mellan fjärrvärme och det husinterna systemet består av en fjärrvärmecentral där värmeväxling sker mellan primärvattnet i fjärrvärmenätet och vattnet i det husinterna, sekundära systemet. Genom att öka kunskapen om kopplingen mellan de husinterna systemen och fjärrvärme kan komfortkraven uppnås samtidigt som fjärrvärmeföretagens krav på prestanda i form av god primär avkylning uppnås.

Huruvida fjärrvärmecentralen är ansluten till ett system som har tappvarmvattencirkulation, VVC, eller ej spelar stor roll för tappvarmvattenberedningen. Då VVC saknas sker hastiga variationer av tappvarmvattenflöde, vilket i sin tur ställer stora krav på tappvarmvattenregleringen. I system med VVC minskar dessa hastiga reglerförlopp. Då tappvarmvattensystem har krav på en varmvattentemperatur på minst 50°C i hela cirkulationssystemet är det även viktigt att VVC-systemet är korrekt injusterat. Fältstudier visar att detta kan uppnås genom installation av termostatiska injusteringsventiler i VVC-systemet. Vid god funktion av VVC kan god tappvarmvattenkvalitet erhållas, samtidigt som väntetiderna för tappvarmvatten minskar.

Omfattande oväder och elavbrott de senaste åren har lett till ett ökat fokus på säker energitillförsel. Vid elavbrott är uppvärmningen av bostäder och lokaler kritisk. Äldre tiders radiatorsystem var uppbyggda för att fungera utan elektrisk cirkulationspump. Då modernare radiatorsystem konstruerade för pumpdrift har betydligt högre strömningsmotstånd anses generellt dessa systems potential för självcirkulation vara liten. Fältförsök och datorsimuleringar av olika byggnader och byggnadstyper visar dock att det finns goda möjligheter att tillgodogöra sig värmeenergi även i modernare system. Då det finns ett värmeunderlag möjliggör detta så kallad ö-drift av elnätet med kraftvärmeverk, som för sin funktion är beroende av ett fungerande fjärrvärmenät som värmesänka. Kunskap om vilka parametrar det är som påverkar självcirkulation kan bidra till beräkning över en byggnads potential för att ta emot värme vid ett elavbrott. Därmed kan också inomhustemperaturen bedömas, vilket är avgörande då beslut angående evakuering skall tas.

SUMMARY

Modern life in Sweden means spending a lot of time indoors. Hence, the demand for properly working space heating and domestic hot water, DHW, systems is high. Since district heating is the dominating heating source in multi-family houses and premises, it is of great importance that the interface between district heating and the house internal systems is working well in order to attain the requirements from users and authorities. The interface between district heating and the house internal system consists of a district heating substation where heat is exchanged from the primary water in the district heating grid to the water in the house internal (secondary) system. With increased knowledge of the connection between the house internal systems and district heating, the demand for comfort can be achieved. At the same time the district heating companies' demand for performance on high primary cooling can also be achieved.

For preparation of DHW, there are large differences between a district heating substation connected to a domestic hot water system with or without domestic hot water circulation, DHWC. In case of no DHWC large fluctuations in DHW flow occurs. This leads to large requirements on the control of the tap water temperature. In systems with DHWC these fluctuations will decrease. Since a minimum temperature of 50°C is required in the whole DHWC system, it is of great importance that not only the control of DHW preparation is working properly, but it is also important that the DHWC system is correctly balanced. Results from field studies show that by installing thermostatic balancing valves this can be achieved. With a properly working DHWC a good tap water temperature can be achieved, and at the same time the waiting time to receive DHW of a good temperature level decreases.

Recent years' severe storms and power failures have led to an increased focus on secure energy supplies. During an electric power failure the heating of residential and other buildings is critical. Since old heating systems are built for natural circulation, in order to work without an electric pump, the question of a modern heating system's potential for natural circulation arises. Field studies and computer simulations of different buildings and heating system types show good potential for receiving heat without electric power. An existing heat load gives potential for island-operation of the electric grid with combined heat and power stations (CHP), which is dependent on a working district heating grid as a heat sink. With knowledge of the parameters that influence the potential for natural circulation in a building during an electric power failure, the heat load can be estimated. Through this, the indoor temperature also can be estimated. An estimation of indoor temperature can be very useful when it comes to making a decision about evacuation of citizens.

NOMENKLATUR

Variabler

Q	Effekt, kW
$\dot{m}$	Massflöde, kg/s
c_p	Värmekapacitet, J/kgK
T	Temperatur, °C
U	Värmegenomgångstal, W/m ² K
$LMTD$	Logaritmisk medeltemperatur, °C
n	Radiator exponent
A	Area, m ²

Index

f	Framledning
s	Sekundär
p	Primär
r	Returledning
rad	Radiator
DUT	Dimensionerande tillstånd
vv	tappvarmvatten

Förkortningar

VV	Tappvarmvatten
VVC	Tappvarmvattencirkulation

INNEHÅLLSFÖRTECKNING

INLEDNING	- 1 -
BAKGRUND	- 1 -
SYFTE	- 2 -
METOD	- 2 -
ERKÄNNANDEN.....	- 2 -
TEKNISK BAKGRUND	- 3 -
CENTRALUPPVÄRMNING	- 3 -
FJÄRRVÄRMESYSTEMET	- 4 -
HUSINTERNA SYSTEM	- 5 -
VÄRMESYSTEM.....	- 6 -
TAPPVARMVATTENSYSYSTEM.....	- 8 -
FJÄRRVÄRMECENTRALEN.....	- 10 -
SAMVERKAN MELLAN FJÄRRVÄRMECENTRALEN OCH DE HUSINTERNA SYSTEMEN	- 10 -
LEVERANSKVALITET	- 15 -
RADIATORSYSTEM	- 15 -
AVBROTTSSTUDIE	- 15 -
TAPPVARMVATTENSYSYSTEM.....	- 17 -
OMVÄND VVC	- 18 -
DISKUSSION	- 21 -
SAMMANFATTNING AV RAPPORTER.....	- 23 -
FÖRÄNDRINGAR I TAPPVARMVATTENANVÄNDNING VID INFÖRANDE AV TAPPVARMVATTENCIRKULATION - FALLSTUDIE	- 23 -
HUSINTERNA VÄRMESYSTEM - PUMPLACERING, AVLÜFTNING	- 23 -
FJÄRRVÄRMELAST VID ELAVBROTT - AVRAPPORTERING	- 23 -
REFERENSFÖRTECKNING.....	- 25 -

INLEDNING

BAKGRUND

I de kallare delarna av världen har människan alltid haft ett behov av värme för sin överlevnad, även om det idag ofta är förknippat med komfort. En stor del av en människas liv i Sverige tillbringas inomhus. Detta ställer givetvis stora krav på god komfort i form av rätt och jämn inomhustemperatur, dels i bostäder och dels i arbetsmiljön. Men det är inte bara till uppvärmning av lokaler vi använder värmeenergi. Drygt 60% av bostads- och servicesektorns energianvändning går till uppvärmning och beredning av tappvarmvatten [4]. Idag har de flesta lokaler och bostäder i Sverige någon form av centralvärme. Fjärrvärme står för drygt 80% av uppvärmningen av flerbostadshus, och för drygt 2/3 av byggnadskategorin lokaler i Sverige [16].

För att kunna säkerställa god kvalitet på inomhusklimatet i form av temperaturnivåer är det viktigt att gränssnittet mellan fjärrvärme och det husinterna värmesystemet är väl fungerande. Gränssnittet mellan fjärrvärme och det husinterna systemet består av en fjärrvärmecentral där värmeväxling sker mellan primärvattnet i fjärrvärmenätet och vattnet i det husinterna, sekundära, systemet. Det finns många krav på de komponenter som ingår i fjärrvärmecentralen. Då det gäller reglering av värmesystemet gäller att säkerställa och hålla en jämn och behaglig inomhustemperatur vid varierande yttre förhållanden. Då det gäller tappvarmvattenberedning finns krav ställda i den svenska byggnormen gällande temperaturnivåer, dels för att undvika skällning, dels för att säkerställa tappvarmvatten av god hygienisk kvalitet.

Fjärrvärme produceras centralt och distribueras till kunder genom rör i marken. Både produktion av fjärrvärme, som med fördel kan ske i kombination med elproduktion, och distribution av fjärrvärme gynnas av en god avkylning i fjärrvärmenätet. Detta har lett till att fjärrvärmebolag på flera orter har infört en prissättning på såld värme som påverkas av avkylningen i fjärrvärmecentralen.

Genom god kännedom om det husinterna värmesystemet och vad som är gynnsamt för fjärrvärmesystemet kan värmebolaget erbjuda kunden en totallösning där god värmekvalitet kan garanteras, samtidigt som en god avkylning kan åstadkommas. Då fjärrvärme ofta kan produceras och distribueras vid en krissituation, exempelvis ett omfattande elavbrott, kan man med kännedom av radiatorsystemet uppskatta en byggnads möjlighet att ta emot värme utan elektricitet. Därmed kan även utkylningen av byggnader uppskattas. Att ha en uppfattning om värmeunderlaget vid ett elavbrott är viktigt ur flera aspekter. Genom att inomhustemperaturer kan bedömas kan evakueringar av boende och avbrott av viktiga verksamheter undvikas eller försenas. För värmeleverantören är det viktigt att veta vilken potential fjärrvärmenätet har som värmesänka, då detta kan vara en förutsättning för att

upprätthålla elproduktion i ett kraftvärmeverk, och är således en förutsättning för att möjliggöra så kallad ö-drift.

SYFTE

Syftet är att förbättra kunskapen om, och stärka länken mellan det husinterna värmesystemet, tappvarmvattenberedning och fjärrvärme. Säkerställa god tappvarmvattenkvalitet i hela tappvarmvattensystemet, inklusive tappstället samtidigt som fjärrvärmecentralen skall fungera så bra som möjligt.

Öka kunskapen kring uppbyggnaden av radiatorsystem, för att på så sätt lägga grunden för att optimera god temperaturkomfort då det gäller uppvärmning samt att genom fältförsök och datamodeller undersöka möjligheten för olika fjärrvärmeanslutna byggnadstyper att ta emot och distribuera värme i byggnaden vid ett elavbrott.

METOD

Genom litteraturstudier och intervjuer har husinterna radiatorsystem undersökts, varvid särskilt fokus har legat på placering av cirkulationspump och expansionskärl. I praktiska fältförsök och laborationsundersökningar undersöks tappvarmvattentemperaturer och tappvarmvattenkomfort samt temperaturstabilitet.

Möjligheten att tillgodogöra sig värme från fjärrvärmenätet har undersökts genom fältförsök i utvalda byggnader av olika system- och byggnadstyp. Genom datormodell av en fjärrvärmeansluten byggnad undersöks parametervariationer vid elavbrott.

ERKÄNNANDEN

Jag vill passa på att tacka mina kollegor på institutionen, och då särskilt mina handledare Janusz och Svend. Tack även till alla inblandade finansiärer och referensgrupper som kommit med värdefulla synpunkter och idéer kring arbetet. Ett särskilt tack till Harald Andersson på E.ON Värme Sverige AB.

TEKNISK BAKGRUND

Detta avsnitt behandlar systematiskt en byggnads uppvärmningssystem och dess sammankoppling med fjärrvärme. För att ge en övergripande bild inleds det med en översikt av centraluppvärmning och uppvärmningen i Sverige. De olika delarna av ett värmesystem beskrivs var för sig, för att sedan länkas samman till ett fungerande uppvärmningssystem.

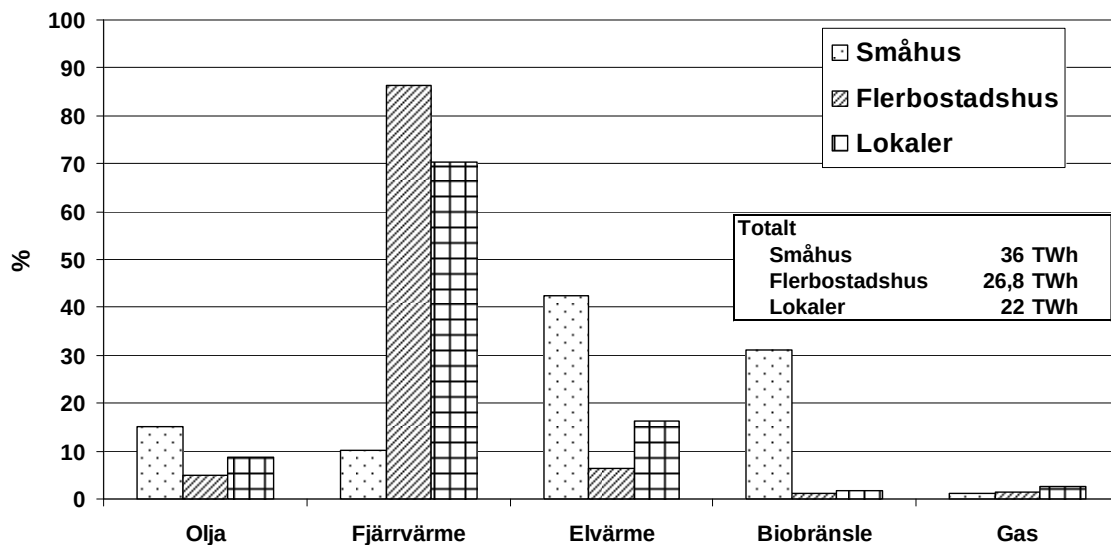
CENTRALUPPVÄRMNING

Behovet av värme är betydligt äldre än de uppvärmningssystem som vi idag använder oss av. Den mest primitiva formen av uppvärmning är strålningsvärme från öppen eld. Förbränning av olika slag har varit och är fortfarande centralt i många uppvärmningssystem. De tidigaste spåren från central uppvärmning finns i byggnadsrester från tiden för det romerska väldet. Systemet byggde på kanaler under golv i rum som värmdes av rökgaser från förbränning. Då det romerska väldet kollapsade återgick man åter till öppna eldstäder. Resan fram till det vi idag kallar ett centralt värmesystem blev lång. Först vid mitten på 1700-talet började vatten, men då i form av ånga, användas som värmebärare istället för luft. De värmeavgivande ytorna liknade från början kaminer och var placerade centralt i rummen för att så småningom mer och mer komma att likna det vi idag brukar se som radiatorer. Parallellt med ångvärmesystem utvecklades system med varmvatten som värmebärare. Från 1860-talet används centraluppvärmning allmänt i offentliga byggnader och läroverk i Sverige. [2], [10]

Idag är centraluppvärmning totalt dominerande för flerbostadshus och lokaler i Sverige, där endast en liten del av byggnadsbeståndet saknar system för central uppvärmning [14], [15]. I svenska småhus gäller dock fortfarande år 2005 att ungefär 17% av energin för uppvärmning används i system utan central uppvärmning [13]. Den andelen av energi som används utan central uppvärmning är i Sverige inte främst i lokala eldstäder, utan i form av direktverkande elvärme vilket fortfarande är en vanlig uppvärmningskälla främst i svenska småhus byggda på 1970-talet.

Fjärrvärme används till ungefär hälften av all energi för uppvärmning i Sverige. Dock skiljer sig uppvärmningssätten mellan olika kategorier av byggnader. För flerbostadshus och lokaler är fjärrvärme det totalt dominerande uppvärmningssättet med 86 respektive 71%. För småhus är el och biobränsle de dominerande uppvärmningsslagen, och fjärrvärme står endast för 10%. [16]

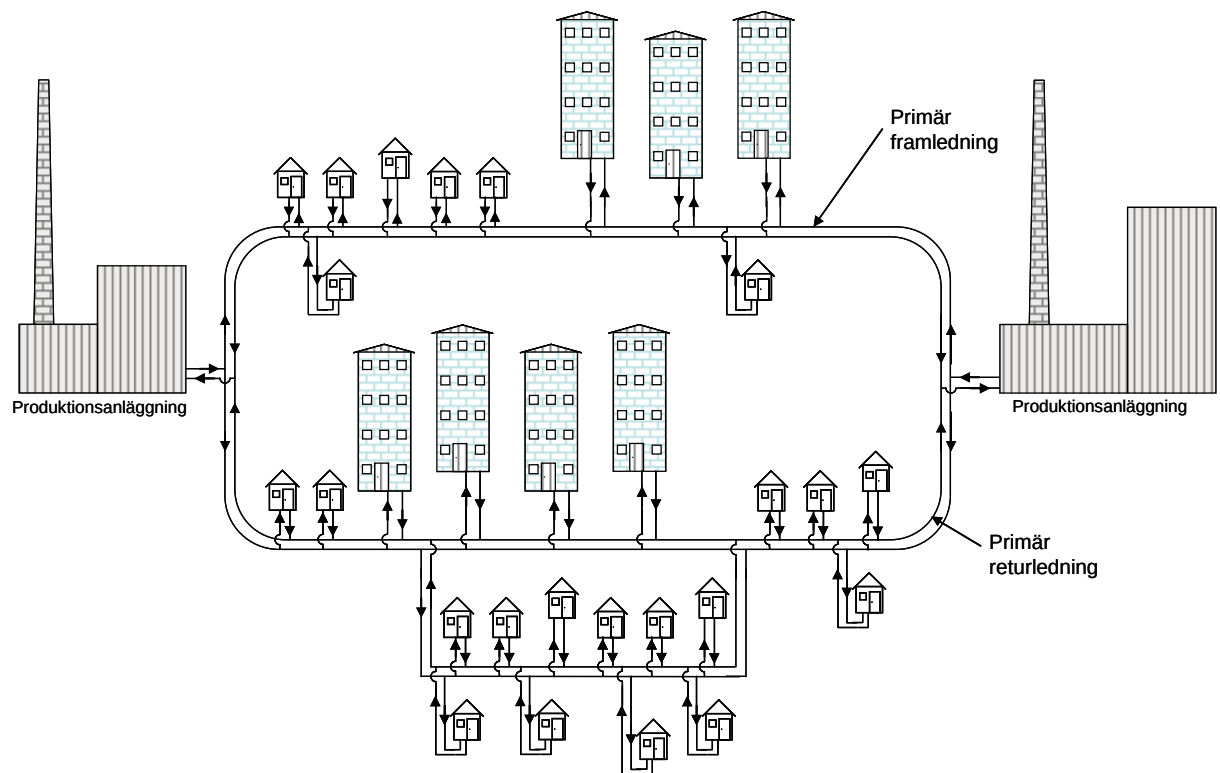
För fördelning av uppvärmningssätt se Figur 1.



Figur 1. Energianvändning uppdelat på energislag uttryckt i andel energi för respektive bygghusetyp.
Baserat på statistik från [16]

FJÄRRVÄRMESYSTEMET

Ett fjärrvärmesystem består av en eller flera produktionsanläggningar som producerar värme, distributionsledningar där värmen transporteras och kundanläggningar där värmen överförs till användaren i en fjärrvärmecentral (tidigare även kallad abonnentcentral). Till produktionsanläggningen finns en värmekälla ansluten (panna, värmepump eller spillvärme) och till fjärrvärmecentralen finns en värmelast (uppvärmning och varmvatten) ansluten. Distributionsledningarna är de nedgrävda rör som binder samman produktionsanläggningarna och fjärrvärmecentralen. Distributionsnätet utgörs av ett rörnät där hetvatten cirkuleras till hela stadsdelar eller samhällen för att förse de anslutna fastigheterna med den värme de behöver, se Figur 2. [5]

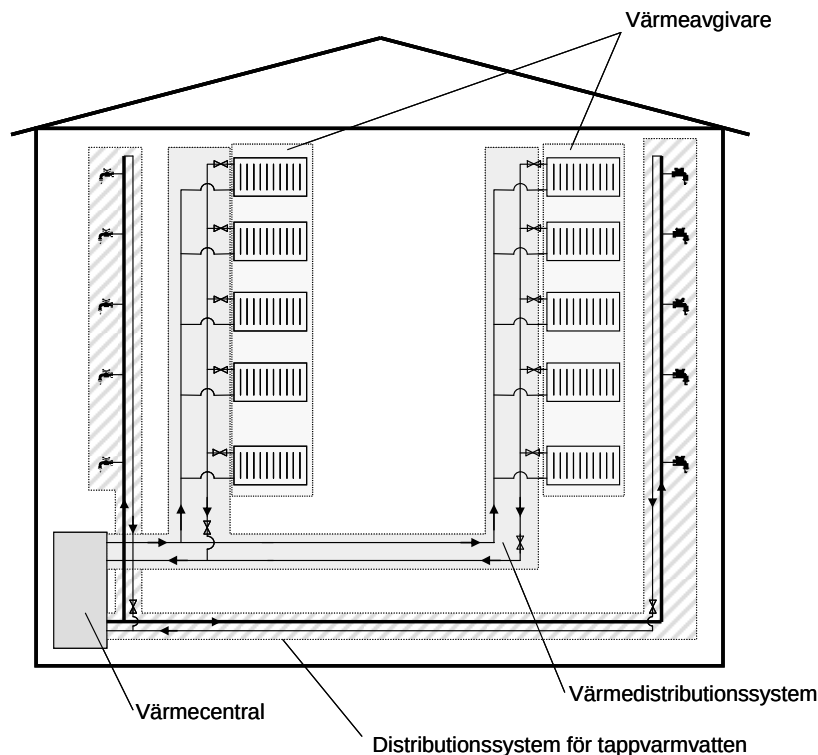


Figur 2. Principbild över ett förenklat fjärrvärmesystem med två anslutna produktionsanläggningar.

Genom att värmen produceras centralt, i produktionsanläggningar, på ett eller flera ställen i fjärrvärmenätet kan miljöfördelar uppnås genom mer kostnadseffektiv rökgasrening, effektivare förbränningsanläggningar samt tillvaratagande av spillvärme från industrier och reningsverk. En större central förbränning innebär även att kraftvärmeverk för kombinerad el och värmeproduktion kan användas. Vattnet i fjärrvärmenätet, primärvatten, cirkuleras ständigt med pumpkraft. En hög avkylning i fjärrvärmecentralen innebär att mindre primärflöde behövs. Minskat primärflöde sänker tryckförlusterna i fjärrvärmenätet då tryckförlusterna är proportionella mot flödet i kvadrat. Detta leder till att mindre pumpenergi behövs för att cirkulera primärvattnet. Ökad avkylning minskar även den totala värmeförlusten i fjärrvärmenätet genom att temperaturen i returledningen sjunker. En låg returtemperatur ökar dessutom verkningsgraden i ett flertal typer av värmeproduktionsanläggningar.

HUSINTERNA SYSTEM

Med husinterna system menas de system som förser och distribuerar värme och tappvarmvatten till fastigheten, se Figur 3. Byggnadens typ och belägenhet samt brukarna i fastigheten påverkar behovet av tillförd energi och användningsmönster.

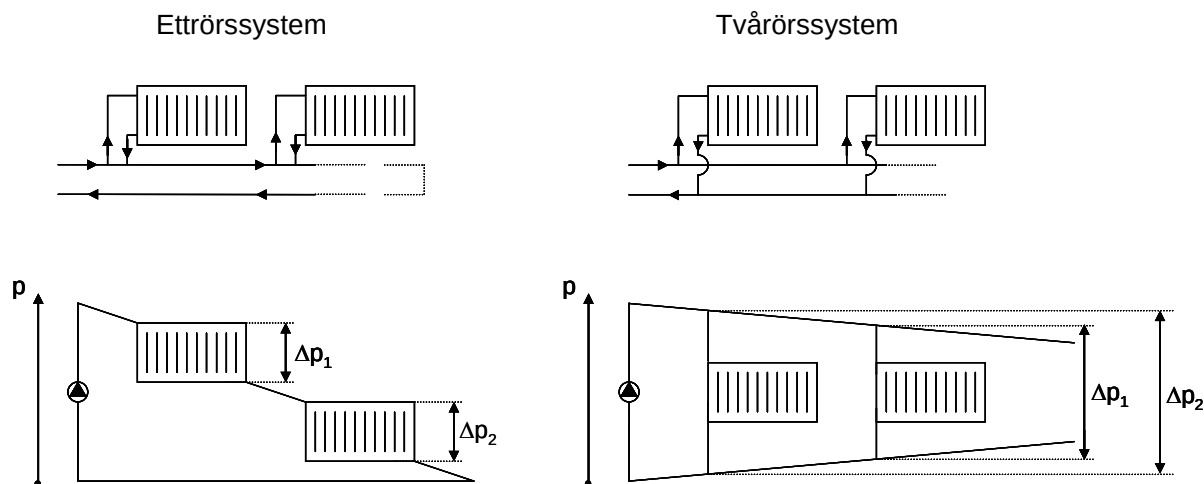


Figur 3. Husinternt system för uppvärmning och tappvarmvatten.

Värmesystem

Det vanligaste huvudsakliga uppvärmningssättet hos byggnader anslutna till fjärrvärme är vattenburna radiatorsystem. Då utomhustemperaturen varierar förändras värmebehovet för byggnaden. Ett värmesystem dimensioneras för att avge en maximal effekt vid den för orten dimensionerande utomhustemperaturen. Värmebehovet antas sedan minska linjärt ner till noll vid gränstemperaturen, då det resterande värmebehovet täcks av den interna värmegenereringen, det vill säga den som sker tack vare elapparater och människorna som vistas i byggnaden. Den avgivna effekten från värmesystemet justeras genom att den sekundära framledningstemperaturen varieras. Värmen distribueras genom rör till radiatorer som genom strålning och konvektion avger värme till byggnaden. För att cirkulera runt radiatorvattnet används idag en elektrisk cirkulationspump.

I Sverige förekommer i huvudsak två typer av radiatorsystem: ett- och tvårörssystem, se Figur 4.



Figur 4. Översikt av de två huvudtyperna av radiatorsystem.

Etrörssystemet har haft en storhetstid under 60-talet [11], då det byggdes sett stort antal flerbostadshus i Sverige. Tvårorssystemet som tidigare var vanligt har efter ettrörssystemets storhetstid återvunnit terräng och kan idag sägas vara det dominerande systemvalet vid uppförande av större byggnader.

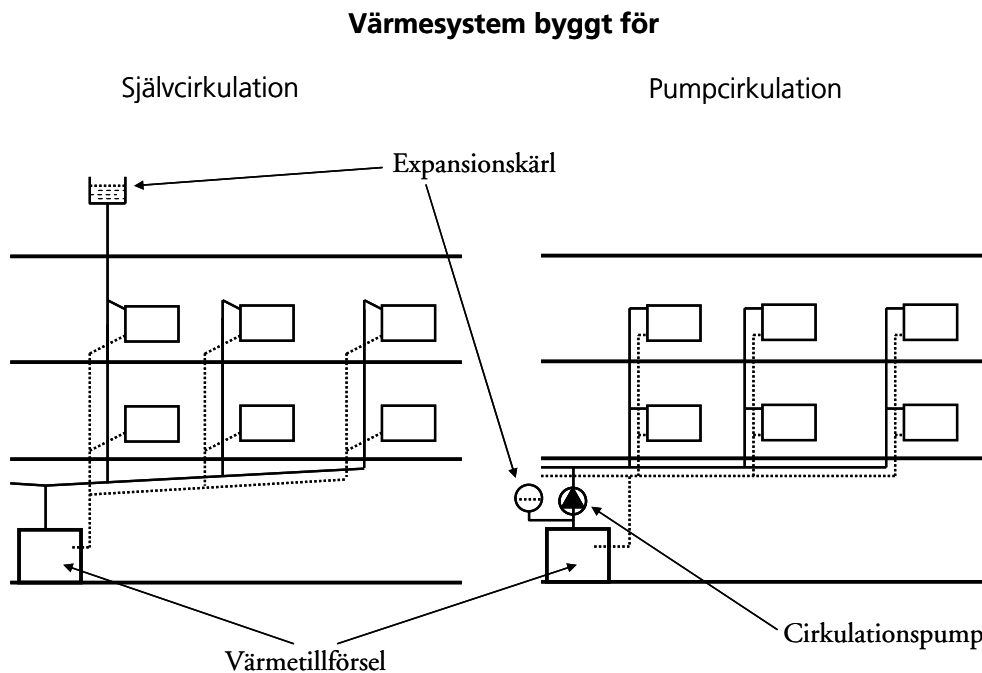
Förutom ett- och tvårorssystem finns en tredje systemtyp, trerörssystemet. Trerörssystemet är en utveckling av tvårorssystemet med en extra rörledning för att ge samtliga radiatorer lika stort differenstryck. Denna systemtyp är dock ovanlig i Sverige då den är kostsam eftersom mängden rör för installationen ökar kraftigt.

Den billigaste systemtypen är ettrörssystem då mindre rörmängder åtgår eftersom ingen direkt returledning finns. Varje radiator blandar in sin retur i framledningen till nästa, vilket innebär att ju längre från uppvärmningskällan man kommer, ju lägre framledningstemperatur finns tillgänglig. Detta medför stora krav på injustering av radiatorsystemet för att undvika ojämna rumstemperaturer.

Övriga väsentliga komponenter i ett radiatorsystem är expansionskärl, radiatorer, termostater och injusteringsventiler. Expansionskärlet tillåter vattnet att ändra sin volym (då temperaturen ändras), utan att det statiska trycket i systemet påverkas. Vidare finns det en regleranordning som styr framledningstemperaturen till radiatorerna för att på så sätt styra den avgivna effekten från radiatorerna då flödes hastigheten är konstant. Den avgivna effekten styrs alltså genom reglering av framledningstemperaturen, men kan även styras genom att flödet genom radiatorerna förändras, till exempel genom termostatventiler som öppnar eller stänger.

I äldre radiatorsystem, innan pumpar började installeras, byggde cirkulationen av radiatorvattnet på så kallad självcirkulation som bygger på densitetsskillnader mellan varmt och avkyld radiatorvatten i kombination med en höjdskillnad. Genom att varmt vatten stiger och det avkylda vattnet sjunker bildas det en tryckskillnad mellan fram- och returledning i radiatorsystemet. Denna tryckskillnad är betydligt lägre än den tryckhöjning som en cirkulationspump skapar, men är radiatorsystemet dimensionerat med låga tryckfall (stora

rördimensioner) räcker denna drivkraft till för att skapa cirkulation. Se Figur 5 för principiell uppbyggnad av värmesystem avsett för självcirkulation respektive pumpcirkulation.



Figur 5. Radiatorsystem byggt för självcirkulation, modifierad från [10], och värmesystem byggt för pumpcirkulation.

Tappvarmvattensystem

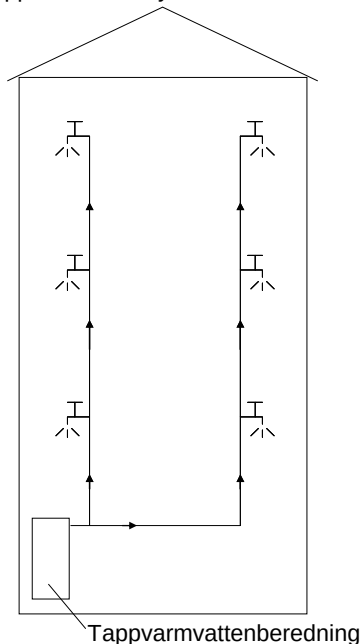
I Sverige bereds numera tappvarmvatten i fjärrvärmeanslutna byggnader vanligen i genomströmningsberedare utan förrådstank. I en del andra länder är förrådstankar för tappvarmvatten vanligt förekommande, liksom i äldre svenska fjärrvärmeanslutningar.

Vad gäller utformning av tappvarmvatteninstallationen så finns krav från Boverket i BBR att:

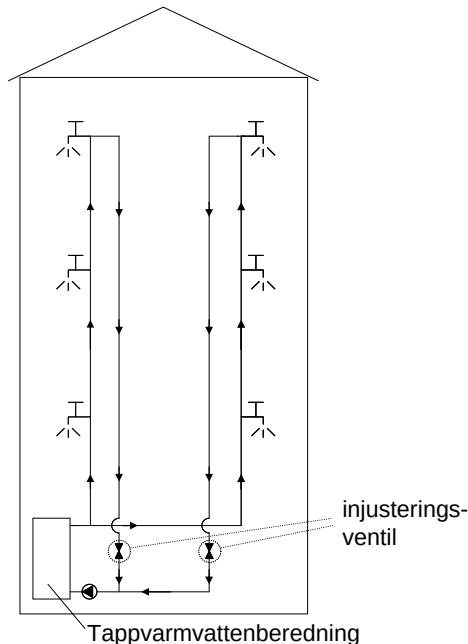
”Installationer för tappvarmvatten skall utformas så att en varmvattentemperatur på lägst 50°C kan uppnås efter tappstället. För att minska risken för skällning får temperaturen på tappvarmvattnet vara högst 60°C efter tappstället.” [1]

För att minska väntetiden på varmvatten vid tappstället installeras ofta tappvarmvatten-cirkulation, VVC. Tappvarmvattencirkulation installeras främst i flerbostadshus och lokaler, men även till viss utsträckning i småhus. Genom att låta tappvarmvattnet ständigt cirkulera finns varmt vatten alltid tillgängligt i närheten av tappstället. Se Figur 6.

Tappvarmvattensystem utan VVC



Tappvarmvattensystem med VVC



Figur 6. Tappvarmvatteninstallationer utan respektive med VVC.

I Boverkets byggregler sägs att tappvarmvatteninstallationen (småhus undantagna) bör vara utformad så att tappvarmvatten finns tillgängligt vid tappstället inom 10 sekunder vid ett tappvarmvattenflöde på 0,2 l/s [1].

För att undvika mikrobiell tillväxt av bland annat legionellabakterier finns krav från Boverket att:

”Cirkulationsledningar för tappvarmvatten skall utformas så att temperaturen på det cirkulerande tappvarmvattnet inte understiger 50°C i någon del av installationen”
[1]

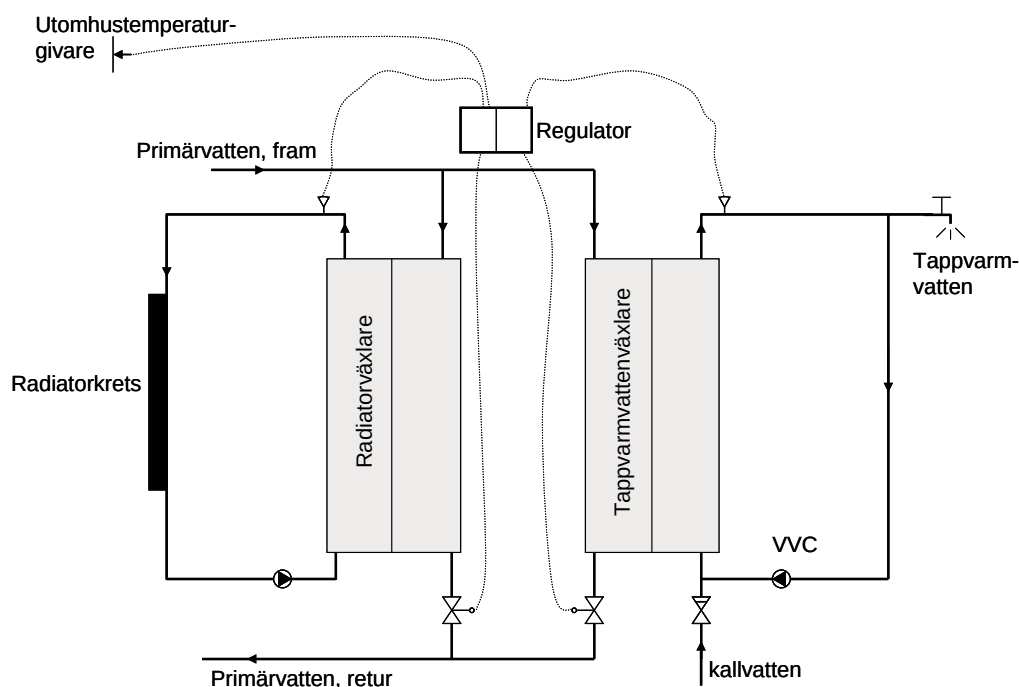
Detta ställer krav på att cirkulationen upprätthålls i samtliga delar av VVC-kretsen, och att injusteringsventilerna i kretsen är korrekt justerade samt att cirkulationspumpen har tillräcklig pumphöjd. Injusteringsventilerna fördelar cirkulationsflödet så att rätt temperatur erhålls överallt. Simuleringar utförda på LTH visar att detta kan uppnås genom installation av termostatiska VVC-ventiler [19]. Detta bekräftades vid praktiska fältförsök presenterade i *”Förändringar i tappvarmvattenanvändning vid införande av tappvarmvattencirkulation - Fallstudie”*, Rapport I.

Vanligen har en VVC-krets en utgående tappvarmvattentemperatur på 55-60°C och en återvändande temperatur på 50°C, vilket om kretsen är korrekt justerad innebär att temperaturen överallt är minst 50°C.

Fjärrvärmecentralen

Fjärrvärmecentralen är den enhet som mottar hett primärvatten från fjärrvärmenätet och växlar värmen i en eller flera värmeväxlare för att matcha fastighetens behov av värme och tappvarmvatten.

Värmewäxlingen sker i Sverige oftast i plattvärmewäxlare av genomströmningstyp, det vill säga att inget värmelager i form av ackumulatorer eller tappvarmvattentankar finns på sekundärsidan. För att matcha byggnadens behov av energi regleras primärflödet med regulatorer, vanligtvis två stycken, en för tappvarmvattenberedning och en för beredning av radiatorvattnet. Dessa styr primärflödet så att rätt temperatur på sekundärflödet erhålls. Se Figur 7 för ett exempel på en fjärrvärmecentral med reglerutrustning för tappvarmvatten och radiatorsystem.



Figur 7. Exempel på kopplingsprincip av en parallellkopplad fjärrvärmecentral med VVC inkopplad på inkommande kallvatten.

Reglerutrustningen i fjärrvärmecentralen har till uppgift att förse fastigheten med den energi som behövs för att uppnå komfort åt fastighetens brukare samt uppfylla krav från Boverket. Som tidigare beskrivits regleras den avgivna värmeeffekten för radiatorerna genom att den sekundära framledningstemperaturen förändras.

Samverkan mellan fjärrvärmecentralen och de husinterna systemen

För att en fjärrvärmecentral skall fungera så bra som möjligt i samverkan med de husinterna systemen finns det stora krav på fjärrvärmecentralen. En rad krav på fjärrvärmecentralens prestanda finns angivna i branschorganisationen Svensk Fjärrvärmes Tekniska bestämmelser F:101 och F:103.

Tappvarmvattenreglering

Hastiga förändringar i tappvarmvattenanvändning kräver en väl fungerande reglerventil, som dels skall reagera snabbt på förändringar i tappvarmvattenflöde, dels skall se till att tappvarmvatten med en stabil och tillräcklig temperatur erhålls. För fjärrvärmecentraler för småhus är detta extra tydligt då sammanlagring av tappningar är obefintlig samtidigt som den dimensionerande tappvarmvatteneffekten är flera gånger större än den dimensionerande radiatoreffekten. Ett räkneexempel illustrerar skillnaden i effekt som en tappvarmvattenventil i en villacentral skall kunna reglera jämfört med radiatorventil i samma anläggning.

$$Q_{vv} = \dot{m}_s \cdot C_p (T_{VV,ut} - T_{KV,in}) = 0,2 \cdot 4,18(50 - 10) \approx 33 \text{ kW}$$
$$Q_{rad} \approx 9 \text{ kW} \text{ (För en normal villa)}$$

Det finns en rad olika tappvarmvattenregulatorer på marknaden. För flerbostadshus är dessa så gott som uteslutande elektroniska, men för småhus är självverkande ventiler dominerande. En självverkande ventil kan i detta sammanhang delas in i två huvudtyper: med och utan framkoppling. En ventil utan framkoppling känner endast av temperaturen på utkommande tappvarmvatten, medan en framkopplad även reagerar på förändringar i tappvarmvattenflöde, vilket gör att denna reagerar snabbare vid ett förändrat tappvarmvattenflöde, vilket speciellt är av stor vikt i system utan VVC.

Vid dimensionering av värmeväxlare antas att radiatoreffekten är proportionell mot antalet lägenheter (egentligen uppvärmd area) medan den dimensionerande tappvarmvatteneffekten även tar hänsyn till sammanlagring av varmvattentappningar. Sammanlagring är ett fenomen som beror på att sannolikheten för att flera hushålls maximala tappningar sammanfaller är mycket liten. Detta får till följd att den dimensionerande tappvarmvatteneffekten inte ökar proportionellt mot antalet lägenheter. I små flerbostadshus är den dimensionerande tappvarmvatteneffekten betydligt högre än radiatoreffekten. Sammanlagringen gör dock att tappvarmvatteneffekten i större flerbostadshus minskar i förhållande till radiatoreffekten, vilket så småningom gör att tappvarmvatteneffekten blir lägre än radiatoreffekten.

Radiatorreglering

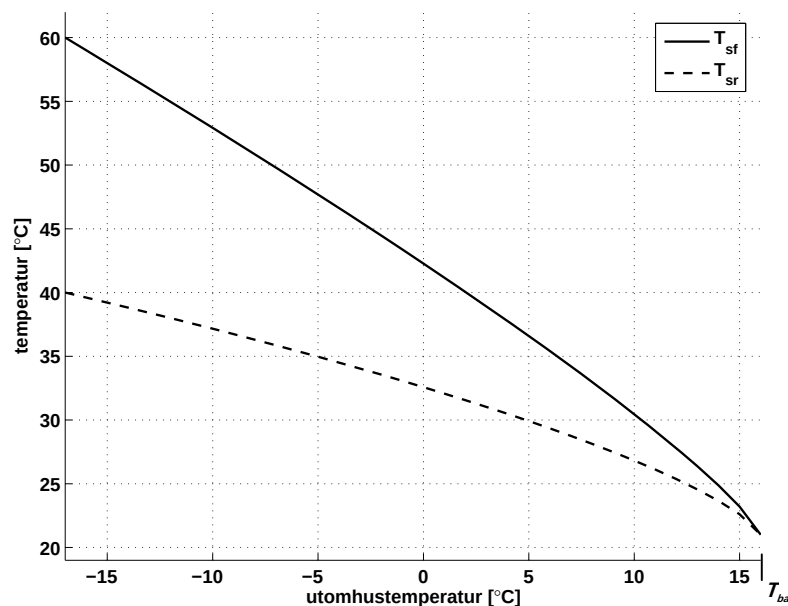
Dimensioneringen av radiatorsystem anger vilket temperaturprogram som radiatorsystemet är dimensionerat för. Vanligt förekommande temperaturprogram för dagens radiatorsystem är 60/40°C, det vill säga $T_{sf} = 60^\circ\text{C}$ och $T_{sr} = 40^\circ\text{C}$ vid dimensionerande utomhustemperatur, medan äldre system ofta dimensionerades för ett högre temperaturprogram, till exempel 80/60°C. Framledningstemperaturen beror på aktuell utomhustemperatur. De ekvationer som styr den avgivna effekten från radiatorsystemet är ekvation <1> och <2> nedan. Det dimensionerande temperaturprogrammet samt den dimensionerande radiatoreffekten (Q_{DUT}) bestämmer, genom ekvation <1>, radiatorflödet.

$$Q_{rad} = \dot{m}_s \cdot C_p (T_{sf} - T_{sr}) \quad <1>$$

$$Q_{rad} = U \cdot A \cdot LMTD^n \quad <2>$$

$$LMTD = \frac{T_{sf} - T_{sr}}{\ln \frac{T_{sf} - T_i}{T_{sr} - T_i}} \quad <3>$$

Eftersom byggnadens effektbehov antas öka linjärt med sjunkande utomhustemperatur och radiatorsystemet dimensioneras för ett konstant flöde så blir även temperaturdifferensen ($T_{sf} - T_{sr}$) i radiatorsystemet linjär. Då ekvation <2>, för avgiven radiatoreffekt, innehåller två icke linjära samband blir emellertid inte fram- och returtemperaturen i radiatorsystemet linjär. Se Figur 8 för exempel på ett 60/40°C-system med Q_{DUT} vid $T_{ute} = -17^\circ\text{C}$.



Figur 8. Temperaturprogram i en fjärrvärmecentral med Q_{DUT} vid $T_u = -17^\circ\text{C}$.

En god anpassning av radiatorkurvorna till det aktuella radiatorsystemet innebär att den avgivna effekten kan styras endast genom variation av T_g . För att detta skall vara möjligt är det dock mycket viktigt att radiatorsystemet är korrekt inställt och att det finns en korrekt uppskattning av balanstemperaturen, T_{bal} , som är den temperatur då ingen värmeförlust behövs.

Avkylningen i en fjärrvärmecentral

För att ett fjärrvärmesystem skall fungera så effektivt som möjligt är det av stor vikt att så stor andel av energinnehållet i varje volymenhet primärvatten används i så stor utsträckning som möjligt.

Flertalet fjärrvärmeleverantörer har ett debiteringssystem som förutom levererad energi även inkluderar avkylningen av primärvattnet i fjärrvärmecentralen [8]. Därför är det av vikt även för konsumenterna att nå god avkylning. Att öka avkylningen i en fjärrvärmecentral kan utföras på flera sätt. Kopplingsprincipen för en fjärrvärmecentral (parallell-, tvåstegs-, trestegskopplingar) och utformningen på dess värmeväxlare samt inkoppling av VVC påverkar avkylningen i viss mån. [9]

I en jämförelse av gamla och nya fjärrvärmecentraler drogs dock slutsatsen att kopplingsprincipen av en fjärrvärmecentral är av underordnad betydelse för avkylningen då avkylningen över hela året beaktas. De viktigaste faktorerna för att nå god avkylning är injustering av fjärrvärmecentralen och det sekundära systemet. [7]

Genom god kännedom om de parametrar som styr radiatortemperaturen i kombination med kunskap om fjärrvärmecentralens karaktistik och funktion kan den primära returtemperaturen bestämmas och genom parametervariation minimeras, vilket visas i rapporten *"Sänkning av fjärrvärmereturtemperatur genom optimal reglering av radiatorsystem"* [18]. För att detta skall fungera krävs god kännedom om det husinterna systemet för att undvika komfortsänkningar på inomhusklimatet.

Genom kännedom om hur systemet påverkas av parametervariation kan även vissa felsökningar av ett radiatorsystem genomföras. Felaktigheter och kortslutningar i radiatorsystemet medför att det inte uppför sig som förväntat vid parametervariation. Ett sådant system kan därför aldrig fungera optimalt, och därmed går inte heller avkylningen att optimera.

LEVERANSKVALITET

RADIATORSYSTEM

I rapporten *"Husinterna värmesystem - pumpplacering, avluftning"*, Rapport II, undersöks vilken typ av radiatorsystem som idag är vanligast förekommande, och var i systemet centrala komponenter såsom cirkulationspump och expansionskärl är placerade i förhållande till varandra och värmeväxlaren. Även problematik med luft och syre i radiatorsystem behandlas. Vatten kan som bekant innehålla en del luft som under vissa förutsättningar frigörs vilket kan leda till luftfyllda utrymmen i systemet, något som stör cirkulationen och kan ge upphov till störande ljud. Ett syrehaltigt vatten är även mer aggressivt mot radiatorer, och kan leda till läckage efter korrosion. Temperaturen och trycket är de parametrar som styr luftens löslighet i vatten. För att minska vattnets luftinnehåll höjs initialt systemtemperaturen i radiatorsystemet vid påfyllnad varefter luften samlas och kan släppas ut genom avluftningsventiler i systemets höjdpunkter.

Då det gäller att öka avkylningen från radiatorsystemet har det gjorts undersökningar, bland annat på Lunds tekniska högskola [18], som visar att det för varje driftsfall finns en optimal driftspunkt för ett radiatorsystem. Då ett radiatorsystem är dimensionerat för att kunna förse byggnaden med värme vid en dimensionerande utomhustemperatur innebär detta att för högre temperaturer är radiatorsystemet överdimensionerat. Vid delaster är det ursprungliga temperaturprogrammet inte nödvändigtvis det som ger den största primära avkylningen. Genom varvtalesreglering av cirkulationspumpen kan radiatorflödet varieras och på så sätt förändras fram och returtemperaturen till radiatorerna och därmed även den primära returtemperaturen.

AVBROTTSSTUDIE

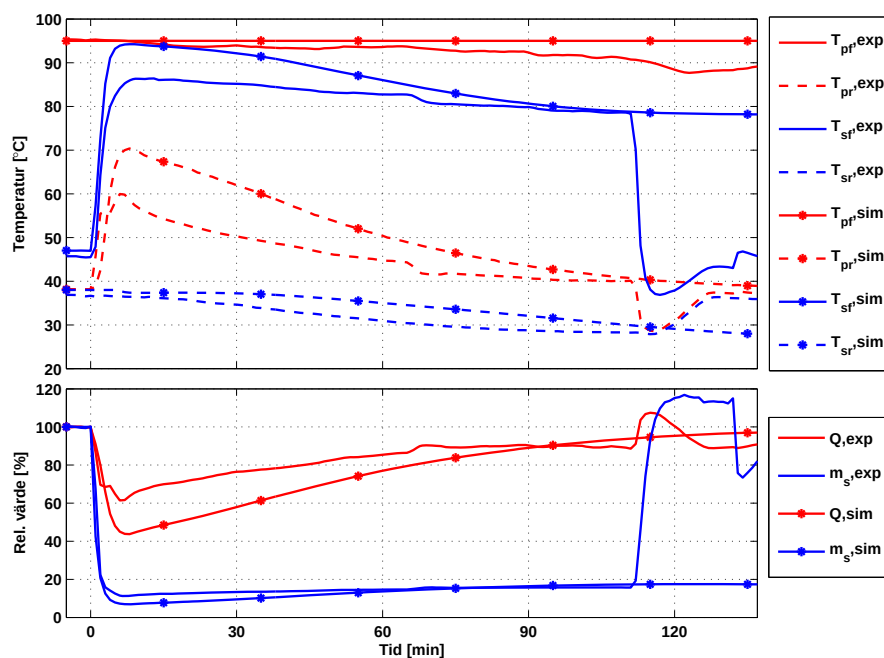
Dagens samhälle är väldigt beroende av flödande energi. Med flödande energi menas sådan energi som slutanvändaren inte har något lager av, exempelvis elektricitet, naturgas och fjärrvärme. Då elektriciteten försvinner vid ett avbrott märks detta genast då hela byggnader släcks ner, elektronisk utrustning upphör att fungera och fläktar stannar. Men vad händer med värmen? Som tidigare beskrivits är en fjärrvärmecentral och det husinterna värmesystemet beroende av elektricitet för att fungera korrekt. Således kommer även fjärrvärmeanslutna byggnader att kylas ner om ingen värme kan tillföras, och efterhand riskerar inomhustemperaturen sjunka så lågt att aktiviteten i byggnaden inte kan upprätthållas. Temperaturen kan sjunka så lågt vid kall väderlek att byggnaden skadas genom frostsprängda rörledningar.

I äldre radiatorsystem behövdes ingen elektricitet för att fördela värmen i byggnaden. Om samma fysikaliska lagar för självcirkulation tillämpas på ett modernare radiatorsystem, som egentligen är anpassat för pumpcirkulation, kan det med simuleringar visas att huset kan tillgodogöra sig upp till 100% av värmen vid självcirkulationsdrift, förutsatt att

produktionen av fjärrvärmens fortsätter samt att differenstrycket på primärsidan upprätthålles av värmeleverantören.

Genom att säkerställa värmeförsörjning vid elavbrott kan boende och därmed hela områden undvika att evakueras, vilket inte enbart är en stor och komplicerad uppgift, utan även mycket kostsam.

Med hjälp av fältförsök har olika byggnadstyper undersökts för möjlighet att motta värme vid ett elavbrott, se *“Fjärrvärmelast vid elavbrott - Avrapportering”*, Rapport III. Genom att komplettera fältförsök med datorsimuleringar kan inomhustemperaturens dynamiska förlopp simuleras, vilket innebär att det är möjligt att studera hur inomhustemperaturen förändras om värmetillförseln är begränsad. För att utvärdera modellens funktion jämförs dess resultat med fältstudier, se Figur 9.



Figur 9 Resultat av simulering (•) och fältförsök av elavbrott.

Som synes visar simuleringen god överensstämmelse med det verkliga fältförsöket då det gäller temperaturförhållanden initialt och vid insvängt förlopp. Under insvängningsfasen visar modellen samma trender som fältförsöket. Skillnaderna som finns mellan fältförsöket och simuleringen är relativt små och kan förklaras med skillnader i radiatorsystemets tröghet, vattenvolym i radiatorsystemet (cirkulationstid) och förändringar i primär framledningstemperatur. Genom en väl fungerande datormodell av både radiatorsystemet och byggnaden kan inomhustemperaturen simuleras dynamisk vid olika yttre omständigheter såsom olika utomhustemperaturer.

Då det gäller normal inomhustemperatur i bostäder och allmänna lokaler anger socialstyrelsen 20 - 24°C och en operativ¹ temperatur under 18°C bedöms som en olägenhet [12]. I rapporten ”Säkrare värmeförsörjning” finns kritiska temperaturnivåer angivna då olika typer av verksamheter inte längre kan upprätthållas, se Tabell 1.

Tabell 1 Föreslagna lägsta inomhustemperaturer vid avbrott [3].

Byggnad/lokal	Föreslagen temperaturnivå
Sjukvård -patientlokaler	+18°C
Vårdhem, äldreboende	+18°C
Värmestugor	+18°C
Bostäder för friska	+10°C

TAPPVARMVATTENSYSTEM

Då det gäller tappvarmvattenkvaliteten är det av vikt att tappvarmvatten av tillräcklig temperatur når brukaren utan irriterande väntetider. För att uppnå detta används i större fastigheter VVC, som tidigare beskrivits i avsnittet *Tappvarmvattensystem* på sidan 8. För att säkerställa god kvalitet på det cirkulerande tappvarmvattnet, och för att undvika tillväxt av legionella, är det av stor vikt att temperaturen i hela cirkulationssystemet är över 50°C. Tidigare simuleringar visar att god temperaturnivå är möjlig genom installation av termostatiska VVC-ventiler [19]. I Rapport I visas praktiska resultat från en sådan injustering.

Genom installation av VVC kan väntetiderna på tappvarmvatten minska radikalt. I Rapport I visas en analys av förändring av väntetider och tappvarmvattenanvändning före och efter att VVC installerats i en byggnad. Resultatet är att väntetiderna för tappvarmvatten minskar radikalt, och antalet tappningar där vattentemperaturen vid kranen uppnår 50°C ökar. Genom att väntetiderna på tappvarmvatten minskar kommer även en större del av den energi som åtgår för att bereda en volym varmvatten brukaren tillgodo. Andelen energi som går åt till att bereda varmvatten för en tappning som kommer brukaren tillgodo vid tappstället ökar med 10-30% [6]. Denna ökning av verkningsgraden för tappvarmvattenberedningen sker på bekostnad av de ökade värmeförluster i tappvarmvattensystemet som uppstår då VVC installeras.

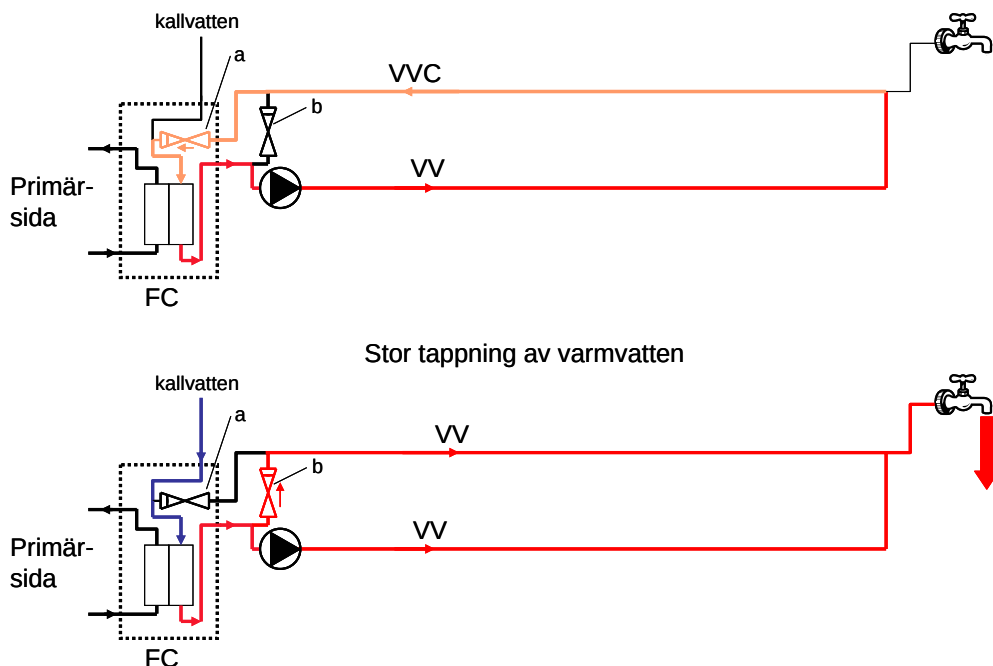
En perfekt fungerande tappvarmvattenregulator reagerar oändligt snabbt på flödesvariationer och når inställt börvärde direkt utan några eftersvingar. I praktiken är detta en omöjlighet. Då VVC finns minskar kraven på tappvarmvattenregleringen eftersom det då ständigt finns ett primärflöde för att upprätthålla de värmeförluster som uppstår i VVC-systemet. Dessutom finns tappvarmvatten av god kvalitet ständigt i rörledningarna mellan fjärrvärmecentralen och tappstället. VVC-systemet kan sägas fungera som en temperaturutjämnare med sin volym och massatröghet. Detta resonemang innebär att en enklare

¹ Den operativa temperaturen är medelvärdet av luft- och medelstrålningstemperaturen från omgivande ytor. [12]

tappvarmvattenregulator kan användas, vilket kan vara aktuellt för villacentraler med VVC som ett led i att hålla nere kostnaden för själva fjärrvärmecentralen. Då en enklare tappvarmvattenventil används saknar den ofta framkoppling, och reglerar endast på utkommande tappvarmvattentemperatur. Detta innebär att placeringen av temperaturgivaren för regleringen är extra viktig. En placering närmare värmeväxlaren medför snabbare svarstider på variationer i bl.a. tappvarmvattenflöden.

Omvänd VVC

Som alternativ till traditionell tappvarmvattencirkulation, där den ena rörledningen används för utgående varmvatten, och den andra för återkommande, kan så kallad omvänd tappvarmvattencirkulation användas, se Figur 10.



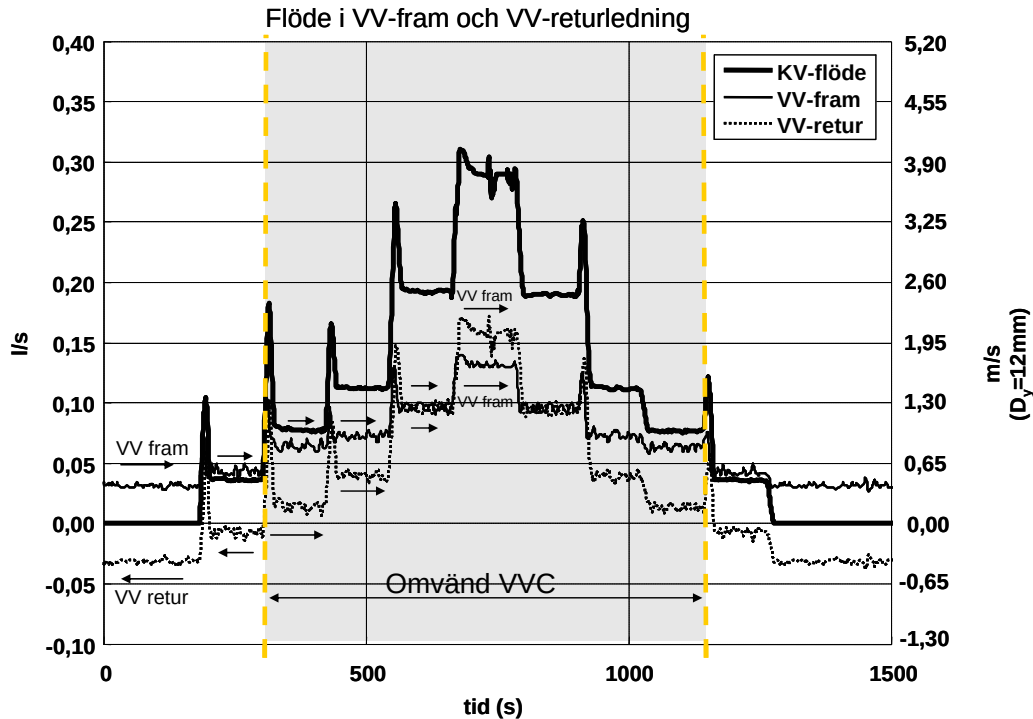
Figur 10. Omvänd VVC.

Omvänd VVC fungerar som traditionell VVC då ingen eller en liten tappning sker. Vid en kraftig tappning öppnar en backventil, *b*, för varmvattenflöde och tillåter därmed tappvarmvatten flöda genom de båda rörledningarna, backventil *a* hindrar kallvatten från att strömma till tappstället.

Genom omvänd VVC delar fram och returledningen på tappvarmvattenflödet och därigenom kan deras dimension hållas nere då volymflödet leds i två rör istället för ett. Denna typ av koppling används i ett projekt i Trelleborg där ett antal äldre villor har anslutits till fjärrvärme. Detta område är utrustat med fjärrvärmecentraler tillverkade av Danfoss A/S och är utvecklade i ett samarbete med ÅF. Att VVC installeras vid villaanslutningar är en del av konceptet med dessa fjärrvärmecentraler då själva centralen placeras i en brunn vid tomtgränsen och således finns ett längre avstånd mellan tappvarmvattenberedningen och husets egentliga anslutningspunkt. I Figur 11 visas laborationstest av den aktuella fjärrvärmecentralen med omvänd VVC utförd i fjärrvärme-

laboratoriet på Institutionen för Energivetenskaper, LTH. Tappvarmvattenregleringen sker genom en självverkande ventil utan framkoppling av typen AVTB från Danfoss A/S.

Principen med omvänd VVC kan även användas i tappvarmvattensystem i flerbostadshus och lokaler, exempelvis då tappvarmvattenledningarna är underdimensionerade, eller riskerar att bli det då byggnaden byggs ut eller verksamheten förändras.



Figur 11. Försök på omslag till omvänd VVC.

Som synes i figuren sker ett omslag för VVC-systemet, från att vara en traditionell fram- och en returledning, till att vara två framledningar vid en tappning på ungefär 0,07 l/s. Vid vilket tappningsflöde omslaget sker är naturligtvis beroende på de tryckfall som finns i respektive rörledning, samt flödesmotstånd i backventiler och cirkulationspump.

Genom att båda rören används som varmvattenledningar innebär större tappningar att båda rören genomspolas. Detta minskar risken för mikrobakteriell tillväxt i form av biofilm i VVC-röret.

DISKUSSION

En ökad kunskap om fjärrvärmekundens värmesystem gynnar både fastighetsägaren och förvaltaren samt fjärrvärmebolaget. Genom ett korrekt fungerande värmesystem kan för fjärrvärmebolaget stora vinster uppnås i form av sänkt returtemperatur, bättre utnyttjande av fjärrvärmenätet och minskade värmeförluster. I *"Nyttan med svensk fjärrvärmeforskning"* anger Werner att ökad avkylning är det området som har störst ekonomisk potential [17]. En perfekt fungerande fjärrvärmecentral ger inte optimal avkylning om det värmesystem som den levererar värme till ej fungerar som det ska. En ökad kunskap om värmesystemet medför att fjärrvärmecentralen kan anpassas till värmesystemet i fråga. För att öka kvaliteten på värmen som distribueras är det av stor vikt att känna till både tappvarmvattensystemens och värmesystemens funktion och uppbyggnad för att möta de krav som finns på inomhusklimat och tappvarmvattentemperaturer. Genom att installera termostatiska VVC-ventiler kan rätt temperaturnivåer uppnås i hela tappvarmvattencirkulationskretsen, något som är viktigt då enbart kontroll av den återvändande temperaturen inte säger så mycket om temperaturnivåerna i hela systemet, utan endast är ett medelvärde av den återvändande temperaturen från samtliga stigarledningar.

Då det gäller reglering av tappvarmvatten kan man först skilja på system med och utan VVC. Då ett tappvarmvattensystem har VVC finns alltid 55-60°C vid värmeväxlarens utlopp. Då VVC saknas (främst villor) är reglerventilen stängd, eller så gott som stängd, då ingen tappning sker. I dessa fall är det viktigt att en snabb reglering av primärflödet sker. Stora förändringar på tappvarmvattenanvändningen ställer stora krav på en väl fungerande tappvarmvattenreglering, med god reglering inom hela reglerområdet. Vid små tappningar då tappvarmvattenflödet är litet och den primära framledningstemperaturen är hög får en liten förändring av ventilpositionen stort genomslag på tappvarmvattentemperaturen, varför det är viktigt att beakta temperaturgivarens tidskonstant samt transporttiden för tappvarmvattnet att nå från värmeväxlaren till givaren. Då givaren är placerad långt från värmeväxlaren fås en instabil och pendlande tappvarmvattentemperatur, något som är extra tydligt för värmeväxlare utan VVC och utan en framkopplad tappvarmvattenreglering. Med en korrekt givarplacering i kombination med VVC kan dock en enklare, icke framkopplad, självverkande tappvarmvattenreglering erhålla goda egenskaper.

För att kunna avgöra i vilken utsträckning, och inte enbart om, en byggnad kan ta emot värme vid ett elavbrott då varken värmesystemets cirkulationspump eller reglerutrustning längre fungerar krävs kunskap om hur olika typer av värmesystem fungerar. Värmesystem i en byggnad kan vara uppbyggda på ett flertal sätt, med olika komponenter såsom ventilationskretsar och golvvärme mm. Givetvis varierar även tryckfallet i olika systemtyper kraftigt, främst mellan två- och ettrörssystem. Då det vid självcirkulation, det vill säga cirkulation utan pumpdrift, endast finns ett litet differenstryck är motståndet i värmesystemet avgörande för dess funktion. Självcirkulation fungerar inte heller om det finns kortslutningar i värmesystemet, något som ofta är fallet då ventilationsaggregat är inkopplade på värmesystemet. Med kunskap om de parametrar som påverkar självcirkulation kan en

byggnads potential för att mottaga värme vid ett elavbrott avgörs. Erfarenheter från fältförsök och datorsimuleringar medför en möjlighet att vid projektering och dimensionering av ett värmesystem, även tillgodose att acceptabel inomhustemperatur garanteras vid ett elavbrott, förutsatt att fjärrvärmeproduktionen och distributionen upprätthålls. Detta kan vara av intresse vid byggnad och dimensionering av byggnader med temperaturkänslig verksamhet. För en byggnad med dåliga förutsättningar för självциркуlation är det intressant att avgöra om den värme som trots allt tas emot kan förhindra frysskador på byggnaden vid ett långvarigt elavbrott.

SAMMANFATTNING AV RAPPORTER

FÖRÄNDRINGAR I TAPPVARMVATTENANVÄNDNING VID INFÖRANDE AV TAPPVARMVATTENCIRKULATION - FALLSTUDIE

Ökande komfort- och kvalitetskrav på tappvarmvatten i byggnader ställer stora krav på såväl fungerande varmvatten- (VV) som tappvarmvattencirkulations- (VVC) system. Många äldre byggnader har förenklade VVC-system och lever därför inte upp till dessa krav. För att bedöma hur tappvarmvattenkvaliteten påverkas av installation av VVC har VVC-systemet i en äldre byggnad expanderats för att inte enbart omfatta källarplanet, utan även stigare för att täcka utvalda lunchrum och toaletter. För att säkerställa temperaturnivån på det cirkulerande vattnet i hela cirkulationskretsen har termostatiska VVC-ventiler installerats. Syftet med denna studie är att kartlägga temperaturnivåer i det befintliga VVC-systemet, injustera systemet genom att installera termostatiska VVC-ventiler samt undersöka skillnader i tappvarmvattenkvaliteten, i form av temperaturnivåer och väntetider, före och efter installation av VVC i lunchrum och toalettutrymmen. Även förändringar i energianvändning studeras.

HUSINTERNA VÄRMESYSTEM - PUMPLACERING, AVLÜFTNING

I denna rapport undersöks genom intervjuer med branschaktiva aktörer faktorer som påverkar placering av cirkulationspump, påfyllnad och avluftning av radiatorsystem. I arbetet konstateras att det förekommer olika placeringar av cirkulationspumpen i förhållande till värmeväxlaren, och att argumenten för de olika placeringarna skiljer sig åt. Flertalet branschaktörers motivering till placeringen av cirkulationspumpen är erfarenhetsmässig eller av praktisk karaktär.

Då luft i radiatorsystemet innebär nedsättning av både funktion, ljud och korrosion är det viktigt att radiatorsystemets vatten är syrefritt. Interesse för påfyllnad av radiatorsystemet med syrefritt vatten från exempelvis fjärrvärmenätet har diskuterats med branschaktiva aktörer.

FJÄRRVÄRMELAST VID ELAVBROTT - ÅVRAPPORTERING

Rapporten "*Fjärrvärmelast vid elavbrott - Åvrapporering*" är en delrapport i det större projektet "*Fjärrvärmelast vid elavbrott*" som inleddes 2006 och kommer att avslutas 2008.

Det största hotet i händelse av ett elavbrott för kommunens invånare och ett antal verksamheter, som äldreboende och andra boendeformer, utgörs av att uppvärmningen slutar fungera vintertid. Syftet med projektet är att undersöka potentialen för värmetillförsel för fjärrvärmeanslutna byggnader vid avsaknad av el. Genomförda fältförsök och datorsimuleringar visar att det generellt finns goda möjligheter att överföra värme från fjärrvärmenätet till anslutna värmesystem genom själv-cirkulation i händelse av ett långvarigt elavbrott. För att kunna upprätta ö-drift av elnätet är ofta avkylningen för kraftvärmeverk avgörande, och därmed är det viktigt att fjärrvärmeanslutna kunder har möjlighet att ta emot värme då dessa utgör kraftvärmeverkets kylning.

REFERENSFÖRTECKNING

- [1] Boverket, *Regelsamling för byggande, Boverkets byggregler, BBR*, BFS 1993:57 med ändringar till och med 2006:22, Karlskrona 2006.
- [2] CTC, *Värmehistoria och värmeteknik : CTC 1923-1948*, Göteborg 1948
- [3] Dahlroth, B., *Säkrare Värmeförsörjning! Tillstånd, Förbättringsmöjligheter, Beredskapsåtgärder*, VÄRMEK, 2007.
- [4] Energimyndigheten, *Energiläget 2006*, Rapport ET 2006:43, 2006.
- [5] Frederiksen, S. – Werner, S., *Fjärrvärme – Teori, praktik och funktion*, Studentlitteratur, Lund 1993.
- [6] Johansson, P-O. – Wollerstrand, J., *Consequences of improvements in domestic hot water circulation circuits – field studies*, 10th International Symposium on District Heating and Cooling, Hanover 2006
- [7] Lindkvist, H. – Wallentun, H., *Teknisk utvärdering av gamla och nya fjärrvärmecentraler i Slagsta*, Rapport FoU 2005:120, Svensk Fjärrvärme, Stockholm 2005.
- [8] Ljunggren, P., *Optimal och robust drift av fjärrvärmecentraler – Avkylning och egenskaper vid elavbrott*, Licentiatavhandling, Energivetenskaper, Lunds Universitet, 2006.
- [9] Ljunggren, P., *Primäravkylning i fjärrvärmecentraler beroende på inkoppling av VVC-retur*, Examensarbete, Värme- och Kraftteknik, Lunds Universitet, 2003.
- [10] Paulsson, G. – Elvin, H. – Theorell, A., *Värme, ventilation och sanitet, del I*, Bokförlaget Natur och Kultur, Stockholm, 1940.
- [11] Petersson, S. – Nyberg, B-E., *Funktion hos 1-rörs radiatorsystem – Avkylning, komfort och stabilitet*, Rapport FoU 2005:120, Svensk Fjärrvärme, Stockholm 2005.
- [12] Socialstyrelsen, *Temperatur inomhus, Allmänna råd*, Rapport SOSFS 2005:15, Grafikerna Livréna i Kungälv AB, Kungälv 2005.
- [13] Statistiska centralbyrån, SCB, *Energistatistik för småhus 2004*, Rapport EN 16 SM 0501, 2005.
- [14] Statistiska centralbyrån, SCB, *Energistatistik för flerbostadshus 2004*, Rapport EN 16 SM 0502, 2005.
- [15] Statistiska centralbyrån, SCB, *Energistatistik för lokaler 2004*, Rapport EN 16 SM 0503, 2005.

- [16] Statistiska centralbyrån, SCB, *Energistatistik för småhus, flerbostadshus och lokaler 2005*, Rapport EN 16 SM 0604, 2006.
- [17] Werner, S., *Nytta med svensk fjärrvärmeforskning*, Rapport FoU - Orientering 2004:9, Svensk Fjärrvärme, Stockholm 2004
- [18] Wollerstrand, J. – Ljunggren, P. – Johansson, P-O., *Sänkning av fjärrvärmereturtemperatur genom optimal reglering av radiatorsystem*, Rapport FoU 2007:6, Svensk Fjärrvärme, Stockholm 2007.
- [19] Wollerstrand, J. – Persson, T., *Injustering av VVC-kretsar*, Rapport FoU 2004:118, Svensk Fjärrvärme, Stockholm 2004.

Rapport I

**FÖRÄNDRINGAR I TAPPVARMVATTENANVÄNDNING VID INFÖRANDE AV
TAPPVARMVATTENCIRKULATION**

- FALLSTUDIE

Per-Olof Johansson



LUNDS UNIVERSITET

2006

Avdelningen för Energihushållning
Institutionen för Energivetenskaper
Lunds Tekniska Högskola
Lunds Universitet
www.vok.lth.se

© Per-Olof Johansson 2006
ISRN LUTMDN/TMHP--06/3027--SE
ISSN 0282-1990

Lund 2006

SAMMANFATTNING

Ökande komfort- och kvalitetskrav på tappvarmvatten i byggnader ställer stora krav på såväl fungerande tappvarmvatten- (VV) som tappvarmvattencirkulations- (VVC) system. Många äldre byggnader har förenklade VVC-system och lever därför inte upp till dessa krav. För att bedöma hur tappvarmvattenkvaliteten påverkas av installation av VVC har VVC-systemet i en äldre byggnad expanderats för att inte enbart omfatta källarplanet, utan även stigare för att täcka utvalda lunchrum och toaletter. För att säkerställa kvaliteten på det cirkulerande vattnet har termostatiska VVC-ventiler installerats.

Syftet med denna studie var att kartlägga temperaturnivåer i det befintliga VVC-systemet, injustera det genom att installera termostatiska VVC-ventiler samt undersöka skillnader i tappvarmvattenkvalité före och efter installation av VVC i lunchrum och toalettutrymmen. I studien ingår även analys av förändringar i energianvändning i samband med installation av VVC.

Mätobjektet för den här studien var maskinhuset, även kallat M-huset, på LTH. I huset bedrivs undervisning och forskningsverksamhet. Mätningarna var utförda i tre perioder:

- kartläggning av VVC-temperaturer
- tappningsförlopp innan VVC-stigare installerades
- tappningsförlopp efter VVC-stigare installerades

Mätningarna visade att det ursprungliga VVC-systemet hade brister i form av låg temperatur i en avlägsen delkrets. Med installation av termostatiska VVC-ventiler kunde detta åtgärdas.

Väntetider på varmvatten var innan installation av VVC-stigare mycket långa då kopplingsledningen mellan cirkulerande varmvatten och tappställe kunde sträcka sig upp till fem våningar. Efter installation av VVC minskade dessa långa väntetider radikalt. Betydligt fler tappningar, framförallt i lunchrummen, uppnådde tappvarmvattentemperaturer på över 50°C efter installation av VVC än tidigare.

Vissa förändringar i användningsmönster har kunnat identifieras. För tappningar i lunchrummen varierar tappförloppet under en tappning inte lika mycket efter installation av VVC som tidigare. Denna studies mätperiod är dock inte tillräckligt omfattande och mätperioderna för korta för att dra några generella slutsatser om beteendeförändringar.

Medelenergianvändningen blev något förhöjd efter installation av VVC i lunchrummen till skillnad för de södra toalettutrymmena där de i princip var oförändrade. Detta förklaras med skillnader i brukarens intresse av tappvarmvattentemperaturer. I lunchrummen där en hel del diskande förekommer är tappvarmvattentemperaturen av större vikt än för toalettutrymmena, där kortare tappningar är vanligare. Dock var temperaturen mycket viktig för brukarna i det norra toalettutrymmet där energianvändningen minskade kraftig då VVC infördes.

FÖRORD

Denna studie av tappvarmvattenanvändning är utförd under våren och försommaren 2004. Mätningarna är utförda i M-huset på LTH som ägs och förvaltas av Akademiska Hus AB. Ett stort tack till Akademiska Hus för tillåtelse att inventera och förändra tappvarmvatten-cirkulationen, en förutsättning för denna fältstudie. Tack särskilt till Hans-Åke Berndt, drifttekniker i M-huset.

Beställare av projektet är Boverket.

INNEHÅLLSFÖRTECKNING

1	INLEDNING	- 1 -
1.1	Bakgrund och problembeskrivning	- 1 -
1.2	Syfte	- 1 -
2	BESKRIVNING AV MÄTOBJEKT	- 3 -
2.1	Mätutrustning och mätperiod	- 3 -
2.1.1	VV-temperaturer i VVC-kretsen	- 4 -
2.1.2	Fjärrvärmecentralen	- 4 -
2.1.3	Toaletterna	- 4 -
2.1.4	Lunchrum	- 4 -
2.1.5	Övrig mätutrustning	- 4 -
3	VVC I M-HUSET	- 5 -
3.1	Resultat av VVC-justeringen	- 8 -
3.2	Värmeförluster i VVC-kretsen	- 9 -
4	UTÖKAD VARMVATTENCIRKULATION I STIGARE	- 11 -
4.1	Mätobjekt –lunchrum	- 11 -
4.1.1	Exempel på enskilda tappningar i lunchrummen	- 12 -
4.2	Mätobjekt –toaletter	- 14 -
4.2.1	Exempel på enskilda tappningar i toalettutrymmena	- 17 -
5	BEARBETAD MÄTDATA	- 19 -
5.1	Flödesvariationer i tappningar	- 19 -
5.2	Temperaturanalys	- 22 -
5.2.1	Tappvarmvattenanvändning	- 28 -
5.2.2	Väntetider	- 31 -
6	ENERGIANVÄNDNING	- 35 -
7	TILLFÖRLITLIGHET TILL MÄTDATA	- 37 -
8	SLUTSATSER	- 39 -

1 INLEDNING

1.1 BAKGRUND OCH PROBLEMBESKRIVNING

För att säkra rätt temperaturnivå i hela tappvarmvattenkretsen i en byggnad är det viktigt att rätt VVC-flöde finns i kretsens alla delslingar. Flödets storlek beror på värmeförlusterna i respektive slinga och på inkommande vattentemperatur. Allmänt gäller att ju längre bort från fjärrvärmecentralen slingan befinner sig desto större VVC-flöde krävs. Man talar om inte enbart hydraulisk utan även om termohydraulisk injustering. Enklast åstadkommer man det genom att en termostatisk injusteringsventil sätts in i varje slinga. I större system förefaller detta vara det enda möjliga sättet att verkligen lösa problemet.

Det är angeläget att verifiera hur pass mycket tappvarmvattenförbrukningen och energi-användningen för tappvarmvattenberedning påverkas i ett bostadshus av injustering enligt ovan. För detta måste ett hus med traditionellt injusterad VVC-krets finnas tillgänglig. Kretsen måste kartläggas och instrumenteras med temperaturgivare och flödesmätare. En flödesmätare per VVC-stam krävs om varaktigheten hos VVC-flödets fluktuationer i samband med tappningar skall kunna kartläggas. Huvudsakliga svårigheten med detta är upprepade ingrepp i husets tappvarmvatteninstallation vilket innebär driftstörningar och olägenheter för de boende. Att hitta lämpliga försöksobjekt är därför svårt.

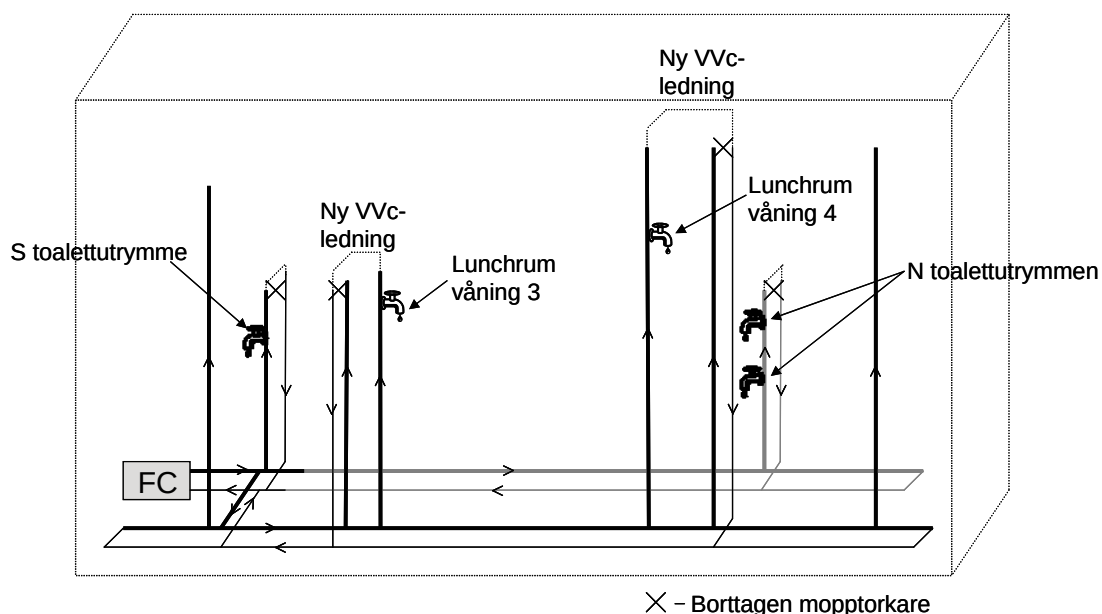
I detta projekt var det planerat att ett medelstort bostadshus beläget i Lund skulle undersökas enligt ovan. Olyckligtvis bytte huset ägare helt oväntat och strax innan försöken skulle startas och projektet blev därför inte längre aktuellt. Som ett ersättningsobjekt valdes kontorsdelen av Maskintekniks byggnad belägen vid Ole Römers väg 1 i Lund, tillhörande Akademiska Hus AB. Det ter sig vara en stor skillnad mellan ett bostadshus och en kontorsbyggnad. Vi tyckte dock att det var motiverat att undersöka förbrukningsmönstret i några toalett-utrymmen samt i två lunchrum där en del anställda och gäster lagar mat själva. Erfarenhetsmässigt vet man att doktorander och gästforskare har mycket oregelbundna arbetstider varför likheten mellan förbrukningsmönster för tappvarmvatten i en högskolebyggnad och i ett bostadshus kan vara mindre än man skulle tro.

1.2 SYFTE

Projektets syfte blev, något omformulerat, att i en större, äldre byggnad med förenklad tappvarmvattencirkulation kartlägga varmvattentemperaturer, värmeförluster och regleringsmöjligheter. Att installera och injustera termostatiska ventiler samt dokumentera förändringar i temperaturnivåerna i VVC-kretsen. Utöka och undersöka förändringar i tappvarmvattenanvändning och tappvarmvattenkvalité före och efter utökad installation av VVC.

2 BESKRIVNING AV MÄTOBJEKT

M-huset är en byggnad med 5 våningar från början av 1960-talet. Tappvarmvatten-cirkulationen är av förenklad typ och utbreder sig endast i källarplanet. Källarplanets rörledningssystem består av ca 500 meter VV-rör och drygt 450 meter VVC-rör. Tappställen på husets högre våningar försörjs med varmvatten via enkla kopplingsledningar från källarplanet. Från början var stigare till tappställen i städskrubbar och mopptorkare försedda med VVC. Dessa mopptorkare var antingen borttagna eller tagna ur drift. De tillhörande VVC-ledningarna var avstängda, men fanns kvar och kunde genom en mindre ombyggnad utnyttjas i projektet för att skapa cirkulation i vissa av de övriga stigarna, där ingen cirkulation fanns, se Figur 2.1. Till två stigare på husets baksida finns förutom städskrubbar även toaletter anslutna på två respektive ett plan. I dessa slingor kan VVC sättas igång utan ombyggnad.



Figur 2.1: Illustration över nyinstallerad VVC på husets framsida till de båda lunchrummen.

2.1 MÄTUTRUSTNING OCH MÄTPERIOD

Mätutrustningen som används är uppdelad för de olika mätområdena. Samtliga stationära flödesmätare är av konventionell typ som används för värmemätning i småhus, fabrikat Kamstrup. För mätning av flöde i fördelningsledningar i källaren användes en portabel flödesmätare typ clamp-on, fabrikat Krohne. De stationära flödesmätarna är installerade av rörinstallatör medan clamp-on mätaren monteras utanpåliggande. Samtliga flödesmätare mäter flödet med hjälp av ultraljudssignal. Temperaturgivarna som används är av typen Pt100, Pt500 och termoelement typ T.

Inventering av befintlig VVC-slinga pågick i februari 2004. Mätningarna utan VVC utfördes 3-12 maj. Sedan sattes VVC igång. Mätningar med VVC utfördes 19 maj-1 juni.

2.1.1 VV-temperaturer i VVC-kretsen

För kartläggning av VVC-temperaturer i källarplanet används fjorton stycken temperatur-loggrar. Temperaturmätarna är monterade utanpåliggande, välisolerade och av typen TinyTag-filmburkslogger från INTAB. Mätningen sker en gång i minuten. Loggrarna töms på mätvärden manuellt tre gånger per vecka.

2.1.2 Fjärrvärmecentralen

Kallvattenflöde in i tappvarmvattenväxlaren och VVC-flöde mäts med en upplösning på 50 pulser/l. Temperaturerna som mäts är kallvattentemperatur, varmvattentemperatur, returtemperatur på VVC samt primär- och sekundärtemperaturer på fjärrvärmevatten. Samtliga temperaturer mäts med utanpåliggande och välisolerade Pt100-givare. Mätdata samlas i en logger av fabrikat Delphin. För att spara loggers lagringsutrymme registreras bara mätvärden som förändrats 1/100°C respektive 1/100 l/s sedan föregående mätning.

2.1.3 Toaletterna

I tre toalettutrymmen på husets baksida mäts tappvarmvattentemperaturer vid varje handfat. Totalt finns fyra handfat per toalett. Temperaturerna mäts med utanpåliggande, välisolerade termoelement typ T. Temperaturmätningarna registreras och samlas i en datalogger varannan sekund. VV- och VVC-flöden mäts vid slingans in- respektive utlopp, gemensamt för alla handfat. Flödena mäts med en upplösning 100 pulser/l, förutom VVC-flödet i de södra toalettutrymmena där VVC-flödets mätupplösning är 300 pulser/l. Mätvärden från flödesmätare samlas i Delphin-loggern i fjärrvärmecentralutrymmet varvid flödesförändringar större än en 1/100 l/s lagras.

2.1.4 Lunchrum

En energimätare av typen Kamstrup Multical Compact har installerats på varmvattenledningen under diskbänken för registrering av temperatur och flöde av varmvatten till blandaren på diskbänken. Mätdata samlas och lagras i en datalogger typ Intab PC2100, med upplösning på 3 sekunder. Temperaturmätningen sker med energimätarens inbyggda givare typ Pt500 som är instucken direkt i tappvarmvattenflödet.

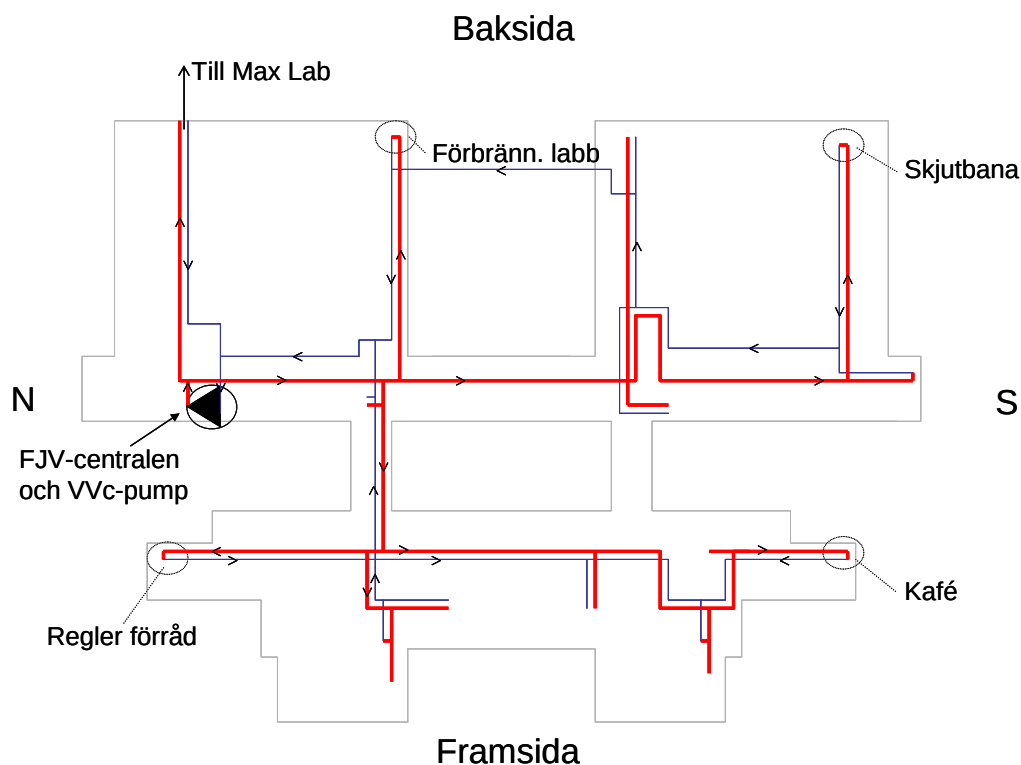
2.1.5 Övrig mätutrustning

För kontroll av delflöden används en flyttbar clamp-on flödesmätare från Krohne. Denna flödesmätare monteras utanpå röret. Innan fast flödesmätare installerades i fjärrvärmecentralen användes clamp-onmätaren även för att mäta VVC flöde i fjärrvärmecentralen.

3 VVC I M-HUSET

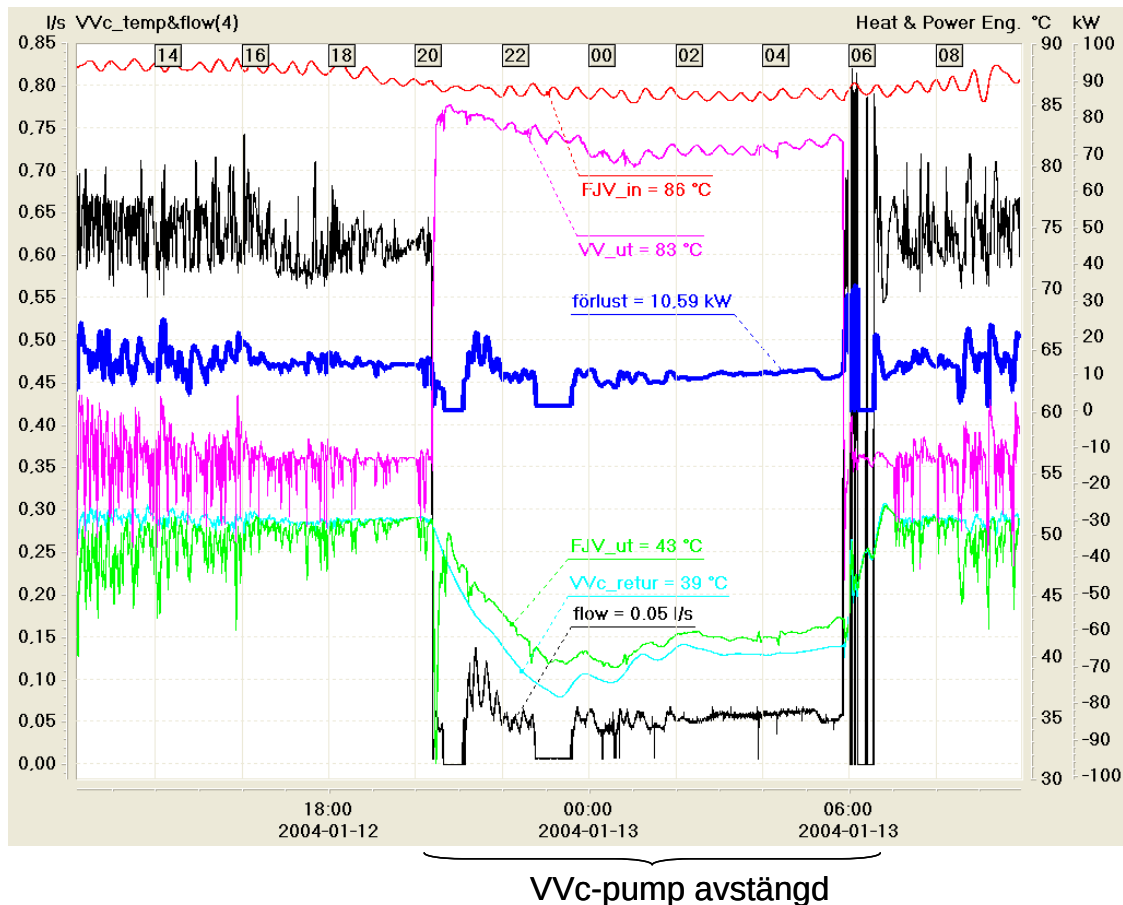
Tappvarmvattencirkulationen i M-huset är av förenklad typ och begränsat främst till källarplanet. Varmvattnet cirkuleras från fjärrvärmecentralen till husets fram- och baksida samt till Max Lab som är en byggnad med forskningsverksamhet sammanbyggd med M-huset, se Figur 3.1.

Injusteringen av VVC-kretsen var vid projektets start bristfällig och egentliga injusteringsventiler saknades. För mätning av temperaturnivåer i VVC-slingan användes så kallade filmburksloggrar från INTAB.



Figur 3.1: VVC-krets i källarplanet.

Vid inventering och kontroll av befintlig VVC upptäcktes att cirkulationspumpen stängs automatiskt nattetid i syfte att spara energi. Avstängningen av VVC-pumpen orsakade självcirkulation i VVC-kretsen och extremt höga utgående tappvarmvattentemperaturer från fjärrvärmecentralen, se Figur 3.2.



Figur 3.2: Exempel på självcirkulation nattetid då VVC-pumpen automatiskt stängdes av.

Självcirkulation uppstår på grund av vattnets densitetsskillnader mellan varmt och kallt tillstånd. Varmt vatten har en lägre densitet och stiger därför. För att få cirkulation behövs alltså både en temperaturdifferens (varm och kallt) och en höjd som det varma vattnet kan stiga i.

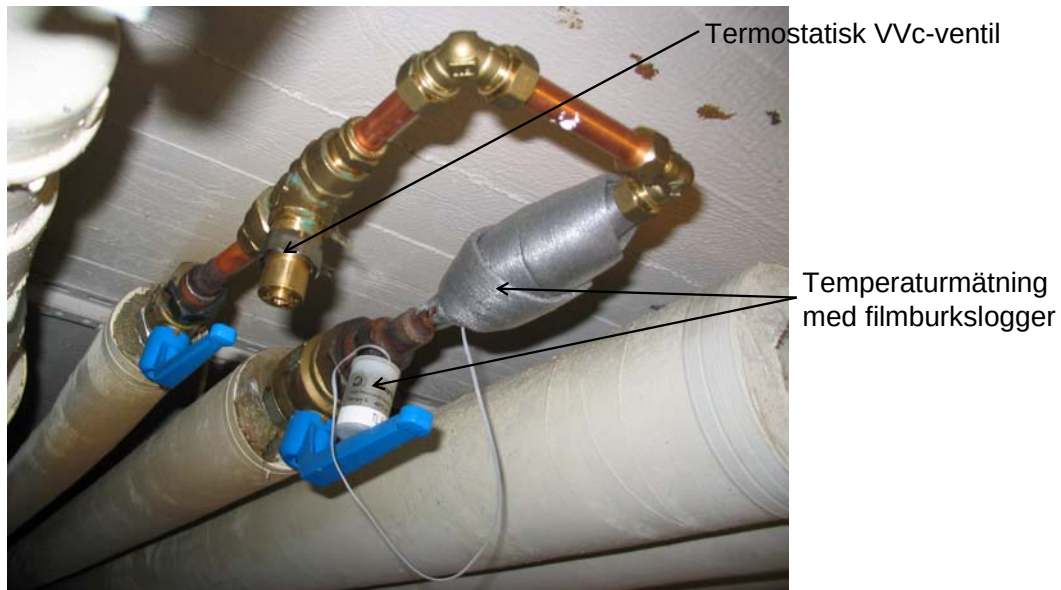
De höga varmvattentemperaturerna som uppstår vid självcirkulation innebär risk för igensättning av varmvattenrör om kalkhaltigt vatten förekommer. Stor risk finns även för skällning vid tappning av varmvatten i närheten av fjärrvärmecentralen. De höga temperaturnivåerna på utgående tappvarmvatten orsakas av att reglerventilen för inkommande fjärrvärme inte sluter tätt. Detta medför att temperaturen i tappvarmvattenväxlaren går mot primär framledningstemperatur om inget flöde skulle förekomma.

Observera att, trots att syftet med den automatiska pumpavstängningen var energibesparing, så var den faktiska minskningen av värmeförluster obetydlig. Den nattliga pumpavstängningen är numera fränkopplad.

För att uppnå bättre temperaturnivåer i källarplanets VVC-krets installerades tre stycken termostatiska reglerventiler. Ventilerna som installerades är av typen VVC F20 från MMA. Se Figur 3.3 för exempel på installerad VVC-ventil.

Systemet justerades och expanderades för att förutom källarplanet innefatta fyra stigare, två på husets framsida till två lunchrum på plan tre respektive fyra, och två på husets baksida till toalettutrymmen på ett respektive två plan. Även dessa fyra nya VVC-stigare försågs med termostatiska ventiler av samma typ som de i källarplanet.

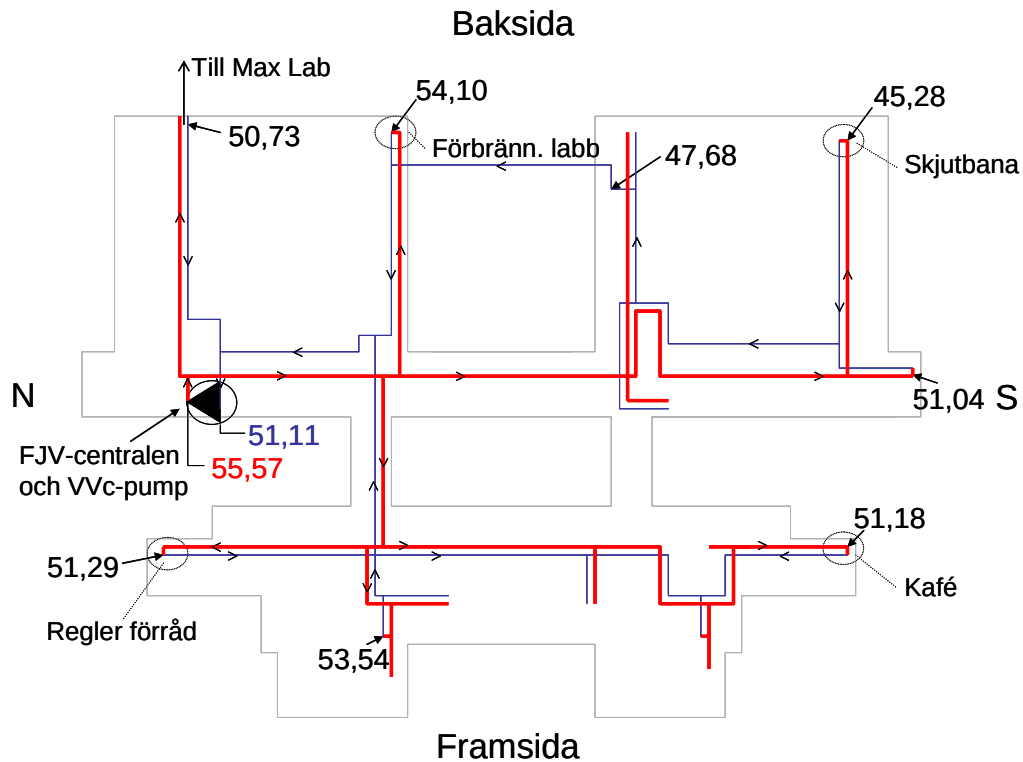
För att uppnå nödvändig cirkulation byttes VVC-pumpen ut mot en pump med större pumphöjd. Den nya pumpen (WILO Stratos Z30/1-12) ger möjlighet till att ställa in flödet samt inbyggd automatik för att bland annat hålla konstant pumphöjd.



Figur 3.3: Installerad VVC-ventill i källarplanet samt temperaturmätning med filmburkslogger.

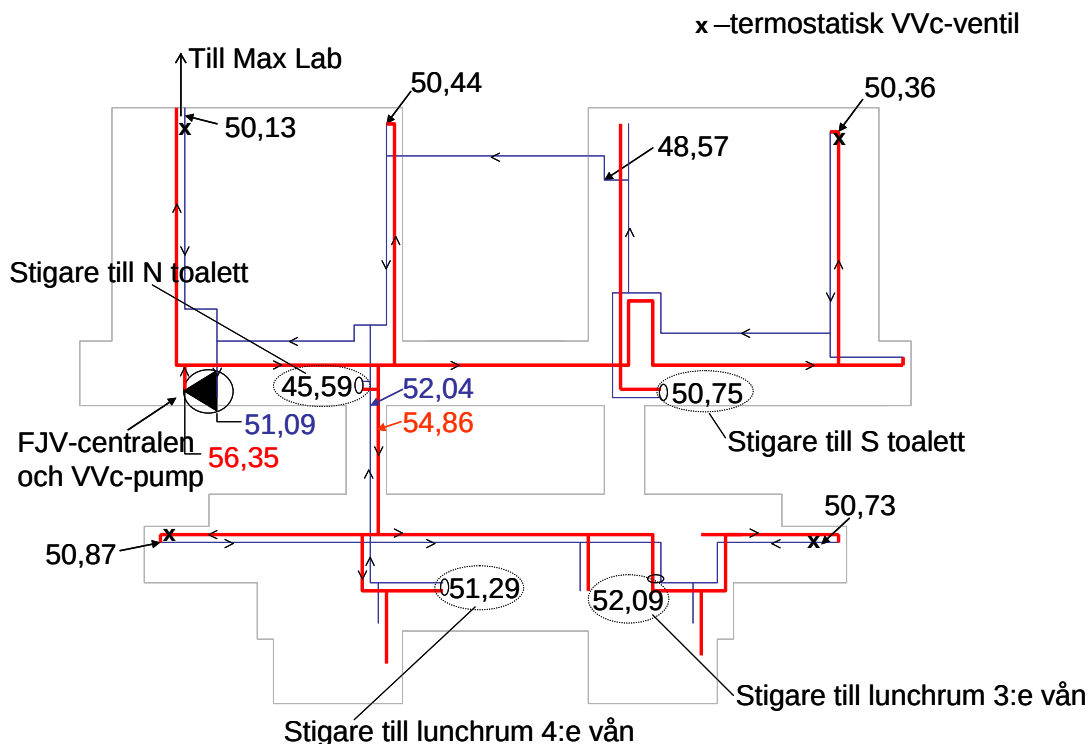
3.1 RESULTAT AV VVC-JUSTERINGEN

Temperaturnivåerna i källarplanets VVC-krets var varierande och på några håll under 50°C trots att returtemperaturen till fjärrvärmecentralen var över 51°C, se Figur 3.4.



Figur 3.4: Temperaturnivåer i VVC-slingan innan justering (källarplan).

Efter byte till termostatiska VVC-ventiler samt injustering av dessa erhöles en jämnare temperaturnivå i VVC-kretsen, se Figur 3.5.



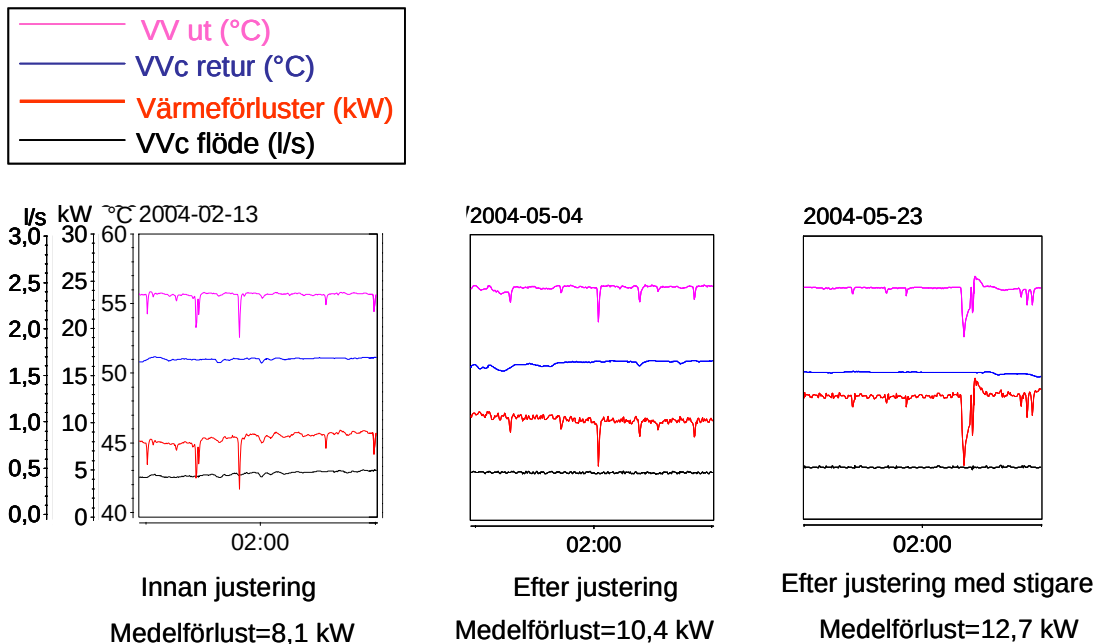
Figur 3.5: Temperaturnivå i VVC-slingan efter installation av termostatiska VVC-ventiler.

Dock finns ett undantag i stigaren till norra toaletten där temperaturerna efter injusteringen fortfarande är under 50°C, trots att ventilen är inställd för högsta temperatur (60°). Orsaken till detta är troligast delvis igensättning av rörledningarna i närheten av VVC-ventilen då varmvattenflödet i ett närliggande tappställe var dåligt. Därför kan rätt flöde inte uppnås trots att ventilens börvärde är ställt till maximum och ventilens funktion är kontrollerad.

För att uppnå tillräcklig cirkulation i den expanderade och justerade VVC-kretsen programmeras VVC-pumpen för att hålla konstant pumphöjd på 11 m.

3.2 VÄRMEFÖRLUSTER I VVC-KRETSEN

I Figur 3.6 redovisas de värmeförluster som uppstår i VVC-kretsen för tre olika fall: icke justerat system, justerat system utan stigare samt justerat system med stigare. Mätningarna av värmeförluster är utförda nattetid för att undvika störningar av varmvattentappningat.



Figur 3.6: VVC flöden och temperaturer i fjärrvärmecentralen samt värmeförluster i VVC-kretsen.

Av figurerna framgår att värmeförlusterna ökar då cirkulationen förbättras eftersom temperaturnivåerna i systemet höjs och cirkulationen ökas till tidigare avstängda delar av VVC-systemet.

De totala värmeförlusterna i VVC-systemet ökar med 2,3 kW (22%) då de extra VVC-stigare installeras, något som var förväntat då den värmeöverförande arean ökade. Sammankopplingar mellan VV-stigare och VVC var vid mätningens tidpunkt dock inte isolerade. Att jämföra de uppmätta värmeförlusterna med vad de kan beräknas till är svårt eftersom de flesta stigare och VVC-ledningar inte är tillgängliga för besiktning, därmed är det svårt att uppskatta dess isolering. Dessutom är vissa ledningar delvis ingjutna i betong. Därför analyseras den totala värmeförlusten i VVC-kretsen inte vidare.

4 UTÖKAD VARMVATTENCIRKULATION I STIGARE

På husets framsida valdes två lunchrum ut lokaliserade i närheten av befintliga VVC-stigare, för installation av VVC. De befintliga VVC-stigare har tidigare används för VVC-värmda mopptorkare i städutrymmen. Dessa torkare används inte längre i bruk och tillhörande VVC var avstängd. De befintliga ledningarna för VVC från mopptorkarna kopplades samman med tappvarmvattenledningen till respektive lunchrum via termostatiska VVC-ventiler på översta våningsplanen, samtidigt som mopptorkarna demonterades eller kopplades förbi. På husets baksida fanns även där VVC-ledningar till städutrymmen som inte längre var i bruk. Dessa stigare var redan kopplade till toalettutrymmen på ett respektive två plan varför någon ombyggnad inte var nödvändig, dock installerades termostatiska VVC-ventiler och mopptorkare demonterades.

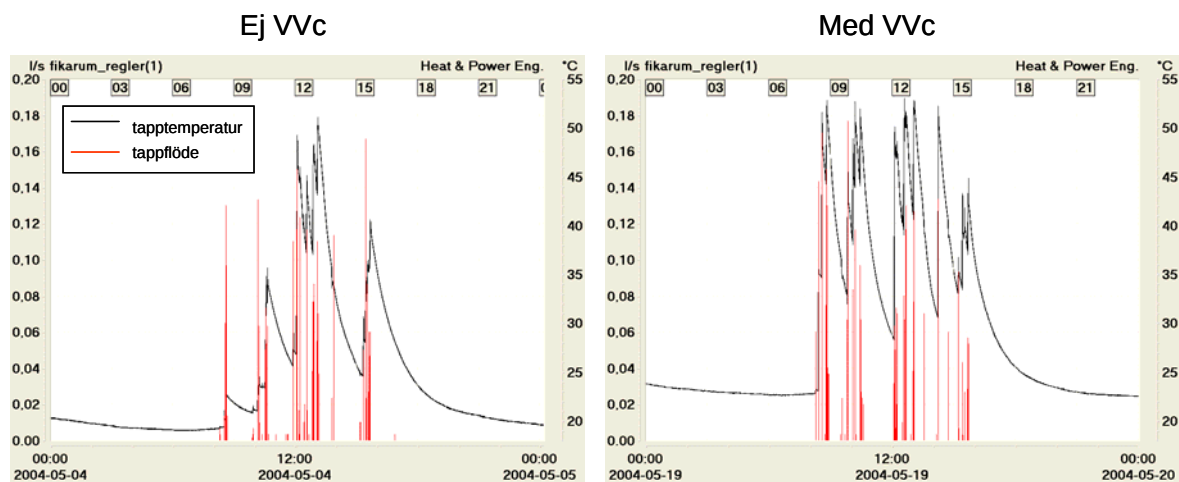
4.1 MÄTOBJEKT –LUNCHRUM

Lunchrummen som valdes ut ligger på tredje (reglerteknik) respektive fjärde (VoK) våningen. I lunchrummet på fjärde våningen går varmvattenledningen från VVC-slingan genom ett betonggolv samt öppet oisolerat i angränsat kontorsutrymme innan tappvarmvattnet når tappstället. På tredje våningen finns även ett avstånd till VVC-slingan på ett par meter genom betonggolv. För exempel på installation av flödes- och temperaturmätare se Figur 4.1.



Figur 4.1: Mätning av tappvarmvattenflöde och temperatur under diskbänken i lunchrummet på 4:e våningen.

De två olika lunchrummen skiljer sig åt genom att det på 3:e våningen är större, har fler brukare samt är utrustat med diskmaskin. För exempel på mätresultat se Figur 4.2.



Figur 4.2: Exempel på mätning av tappvarmvattenanvändning och temperaturnivåer med och utan VVC i lunchrummet på 3:e våningen.

Man kan konstatera att de slutligt uppnådda tapptemperaturerna är högre och jämnare med VVC installerat.

Från mätningarna har enskilda tappningar sorterats ut och studerats, dels som enskild tappning, och dels som statistiskt underlag för undersökning av förändringar i tappvarmvattenanvändning och varmvattenkvalité.

4.1.1 Exempel på enskilda tappningar i lunchrummen

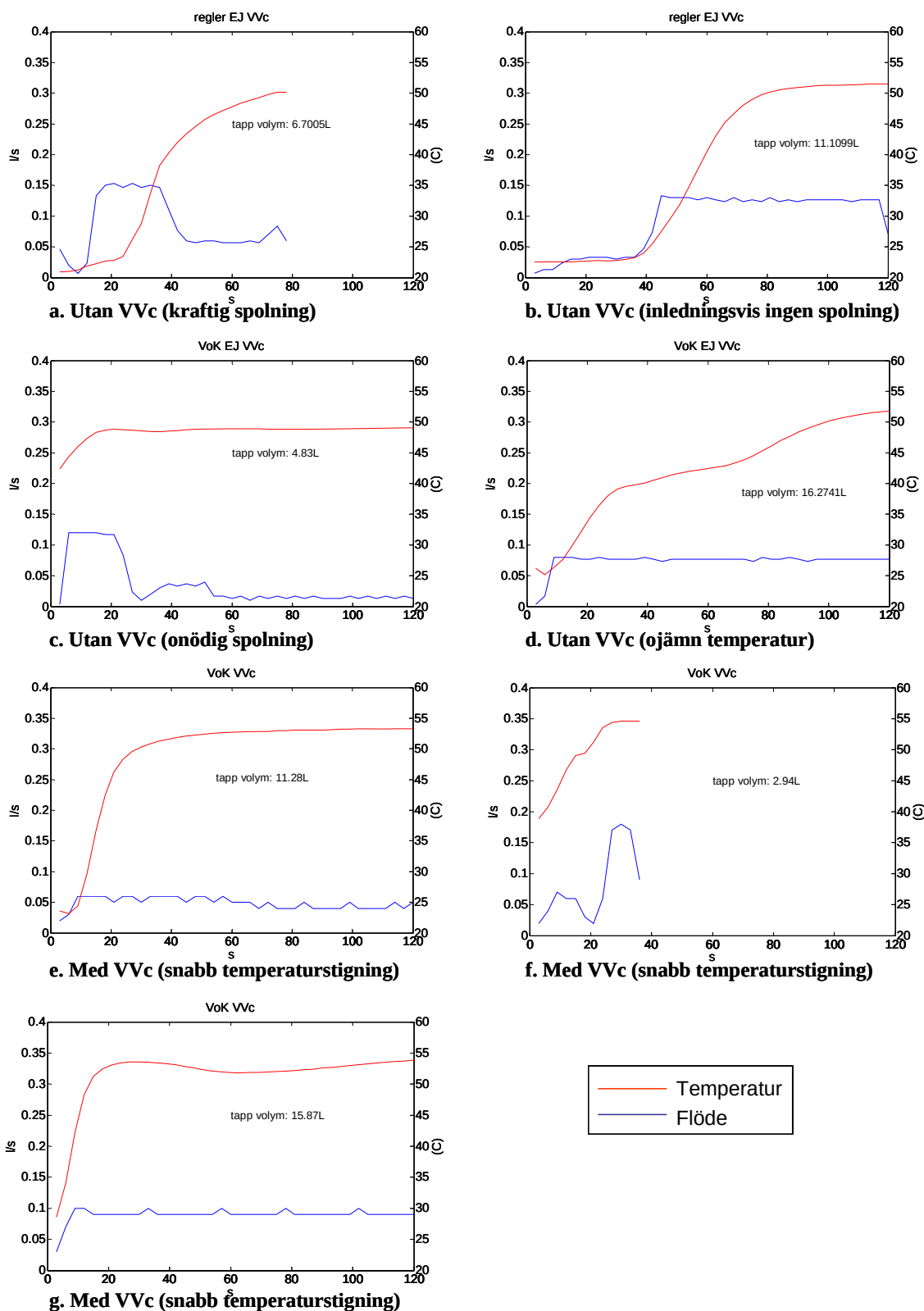
För att åskådliggöra olika tappförlopp redovisas några typiska exempel på tappningar, såväl med som utan installerad VVC i Figur 4.3.

Tappningarna i Figur 4.3.a-c visar på ett mönster där brukaren önskar en hög tappvarmvattentemperatur. I Figur 4.3.a syns temperaturförloppet av en tappning med reglering utförd av brukaren, först ett högre tappvarmvattenflöde, sedan när temperaturen stigit minskar flödet. Även Figur 4.3.b visar en tappning med reglering där flödet och temperaturen inledningsvis är låga. Efter knappt 40 sekunder ökar flödet kraftigt och då ökar även temperaturen hastigt, dock fortsätter tappvattenflödet vara högt. Figur 4.3.c inleds med ett högt tappvarmvattenflöde, trots att temperaturen inledningsvis är högre än 40°C och fortsätter att stiga. Då den nått upp till knappt 50°C minskas flödet.

Figur 4.3.d är ett exempel på en längre tappning utan VVC där tappvarmvattentemperaturen ökar sakta och flödet är konstant under hela tappningen.

Figur 4.3.e-g är exempel på tappningar med VVC-slingan installerad. I dessa tappningar ses att tappvarmvattentemperaturen ökar betydligt snabbare än då VVC ej var installerat.

Tappningarna i Figur 4.3.g och d, med respektive utan VVC, är jämförbara tappningar av samma storleksordning då det gäller flöde, begynnelse-temperatur och tappvolym. Temperaturförloppet är däremot helt annorlunda. I fallet med VVC ökar temperaturen kraftigt i början av tappningen och uppnår en temperatur på över 50°C inom 20 sekunder, något som tappningen utan VVC gör först efter ca 100 sekunder.



Figur 4.3.a-g: Exempel på enskilda tappförlopp.

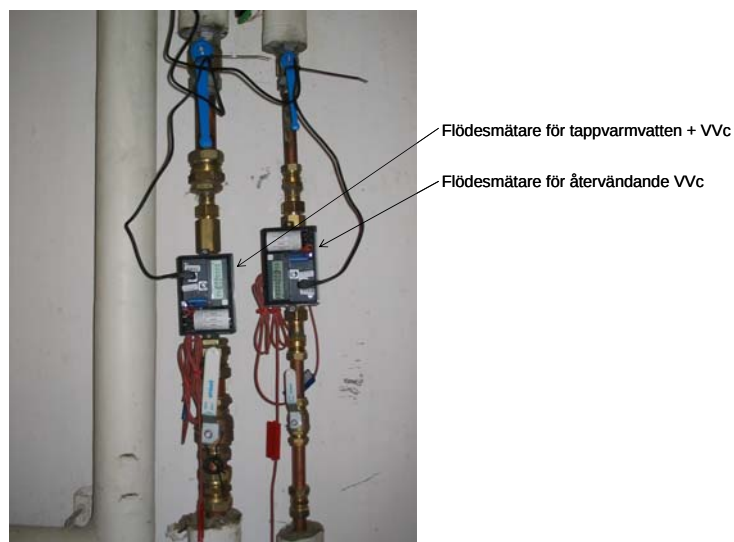
4.2 MÄTOBJEKT –TOALETTER

Två stigare på husets baksida försågs med VVC och termostatiska ventiler. Till dessa stigare är toalettutrymmen med WC och urinoarer anslutna. Den sydliga stigaren förser toaletter på plan ett och två med tappvarmvatten, och den norra stigaren förser ett toalettutrymme på plan två. Temperaturmätningen sker med termoelement som ligger an mot varmvattenledningen precis under handfatet, se Figur 4.4.



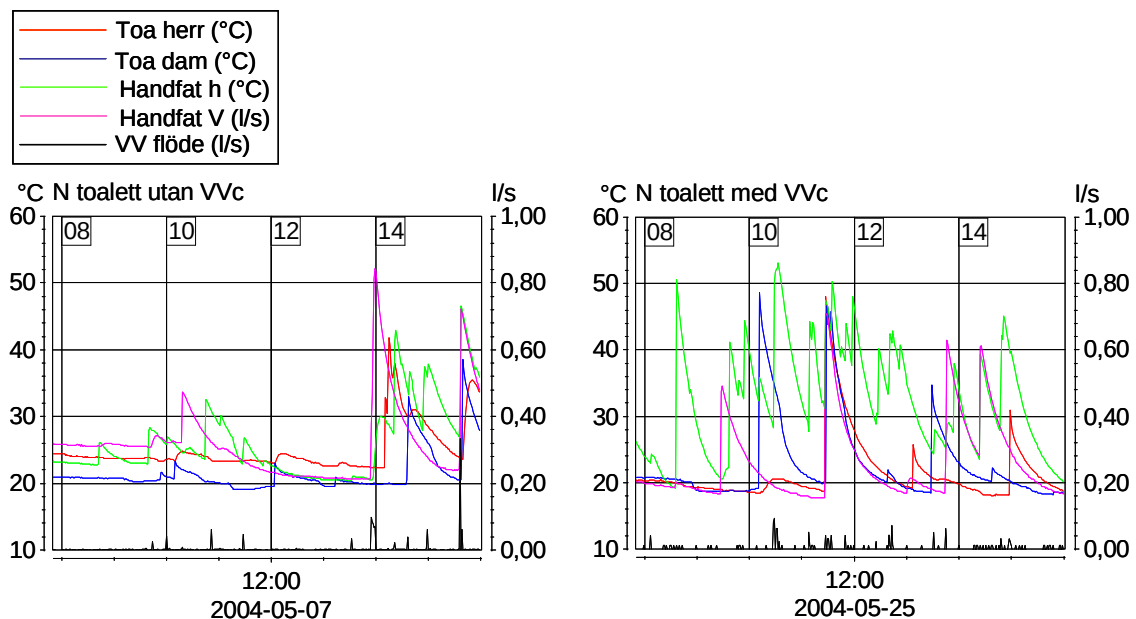
Figur 4.4: Installerad temperaturmätning på handfat.

Av installationstekniska skäl mäts tappvarmvattenanvändningen på dessa slingor i källarplanet. Varje slinga utrustades med två flödesmätare (Kampstrup multical compact), en för mätning av varmvatten, en för återvändande VVC, se Figur 4.5. Skillnaden mellan dessa två flöden utgörs av tappvarmvattenförbrukningen.



Figur 4.5: Flödesmätning av tappvarmvattenanvändning vid norra toalettstigaren.

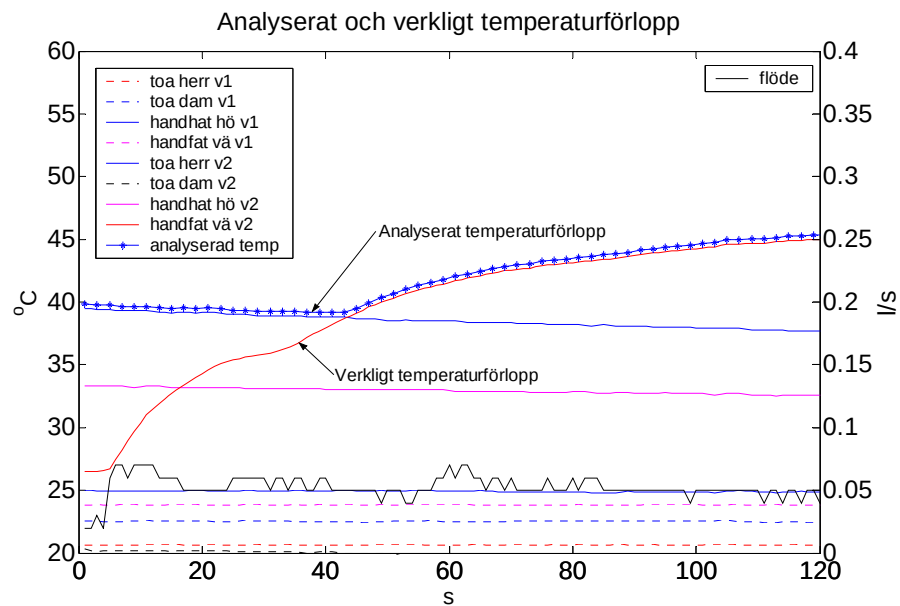
Flödesmätningen lagrades i loggern i fjärrvärmecentralen. För exempel på mätresultat av temperatur och flöde se Figur 4.6.



Figur 4.6: Exempel på mätdata från norra toaletten.

Att tappvarmvattenanvändningen mäts gemensamt för alla åtta tappställen medför att man inte med säkerhet vet vilket tappställe som används då mätaren registrerar en tappning. Detta är olägligt då vi är intresserade av sambandet mellan tappflöde och temperaturförlopp vid varje enskild kran. De använda tappställena kan dock identifieras genom analys av temperaturförloppen, tack vare att vattentemperaturen ökar vid det tappställe som används medan den sjunker på avsvälning vid de övriga tappställena. Vid analys av en hel mätserie måste en sådan identifiering göras automatiskt i och med att antalet tappningar är stort. För att förenkla arbetet har ett enda temperaturförlopp, bestående av maximala uppmätta temperaturer vid varje tidpunkt, tagits fram och antagits gälla vid alla tappningar oberoende av tappställe.

Metoden är effektiv men har en nackdel. Anta att en tappning just har förekommit i ett tappställe och att vattnet håller på att svalna av från en högre temperatur, samtidigt som vattnet vid övriga tappställen är avsvältnat. Då en tappning sker i ett annat tappställe vid en sådan tidpunkt så beaktas inte tappställets vattentemperatur förrän den blivit högre än temperaturen vid det förstnämnda tappstället (som håller på att svalna av). Konsekvensen blir att temperaturförloppet som tillskrivs den senare tappningen i verkligheten består av två delförlopp som hör till två olika tappställen. För exempel på detta se Figur 4.7.



Figur 4.7: Exempel på verklig tappning och analyserat förlopp.

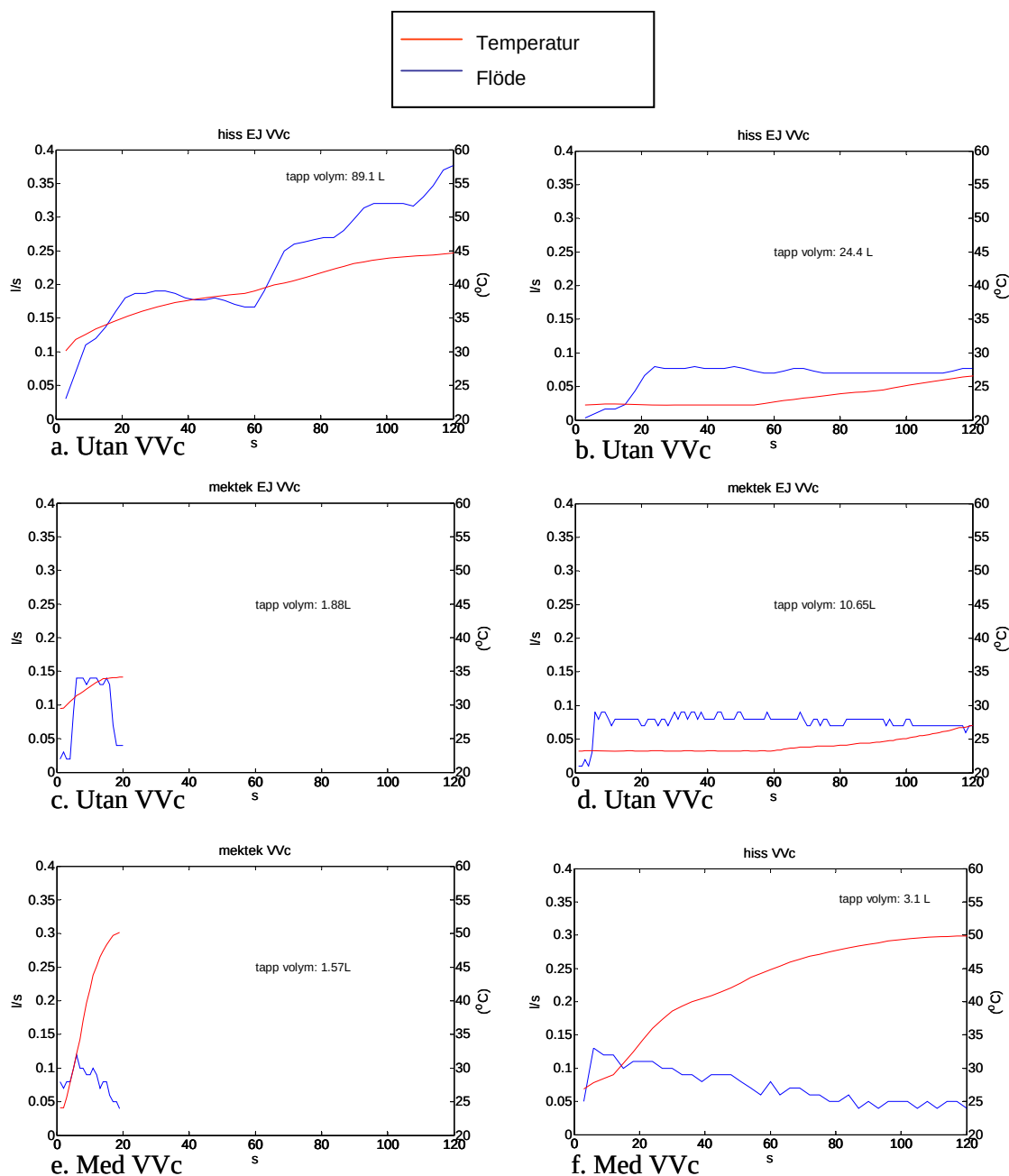
Förutsatt att tappningen inte är alltför kort påverkar fenomenet endast begynnelse-temperaturen som blir förhöjd. Detta har mindre betydelse i praktiken eftersom tyngdpunkten på bearbetningen av mätdata ligger på sluttemperaturer och väntetider för komforttemperatur och legionellasäkerhet.

Det finns även tillfällen då två eller flera tappningar sammanfaller. Dessa kan inte sorteras ut, och behandlas därför av en kraftigare tappning. På grund av detta bör kraftiga och långa tappningar betraktas med viss försiktighet.

4.2.1 Exempel på enskilda tappningar i toalettutrymmena

Exempel på uppmätta tappningar visas i Figur 4.8.a-f.

Tappningarna i Figur 4.8.a-d är gjorda innan VVC installerades och tappningarna i Figur 4.8.e-f är utförda efter installation av VVC.



Figur 4.8.a-f: Exempel på tappningar i toalettutrymmen.

I de fyra första tappningarna (se Figur 4.8.a-d), utan VVC, syns att tappvarmvattentemperaturnivåerna är låga och stiger långsamt. Exemplet i Figur 4.8.a visar en tappning där flödet är kraftigt och ökande samtidigt som temperaturen stiger. I detta fall verkar brukaren vara intresserad av att verkligen få varmvatten med rätt temperatur. I övriga tre fall är flödet lågt och brukarna kan därför inte anses vara särskilt intresserade av tappvarmvattentemperaturen. Tappningsexemplen då VVC är installerat (Figur 4.8.e-f) visar att temperaturen stiger både tidigare och betydligt kraftigare, det vill säga att väntetiden på varmvatten har minskat.

5 BEARBETAD MÄTDATA

Mätdata bearbetas separat för var och en av de fyra stigarna. Datan bearbetas med avseende på variationer av tappningars flöden samt på sluttemperaturer, tappvarmvattenanvändning och väntetider.

5.1 FLÖDESvariationer i TAPPNINGAR

För att undersöka variationen i tappförloppet normeras alla tappningar större än 0,5 liter. De mindre tappningarna sorteras bort eftersom de inte anses vara av stor vikt eftersom sluttemperaturen på varmvattnet på dessa tappningar ej anses intressanta för brukaren.

Normaliseringen uttrycks som antalet medelvärdesavvikelser från tappmedelflödet. För att inte få störningar av inledande tappförlopp börjar medelvärdena beräknas efter 12 sekunders tappning.

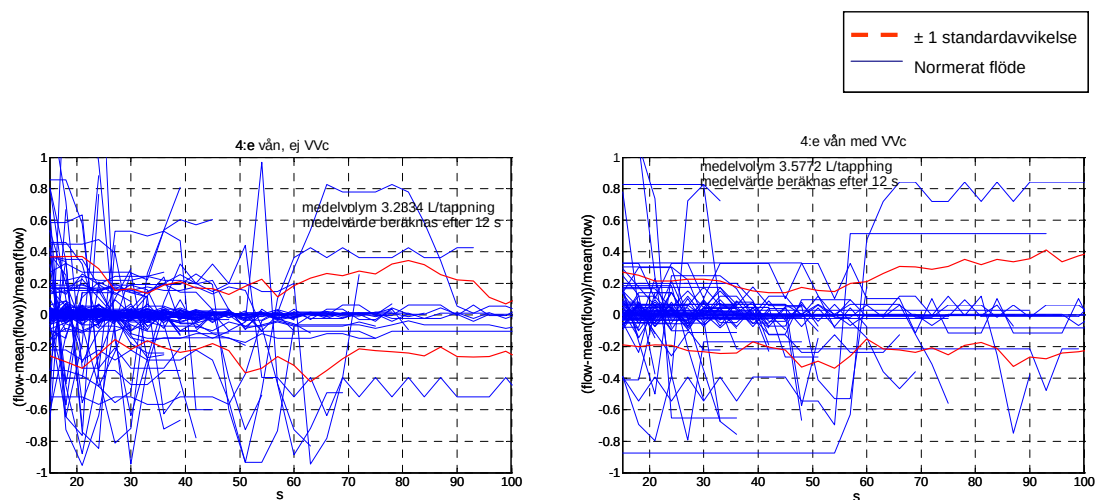
Normerat tappflöde beräknas enligt:

$$V(t) = \frac{v(t) - \mu_v}{\mu_v} \quad (\text{enhetslöst normerat flöde})$$

där: $v(t)$ – flöde (l/s)

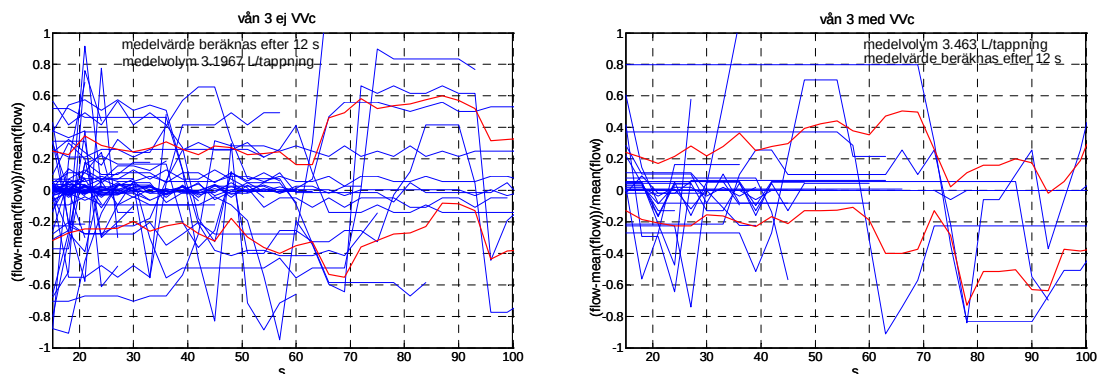
μ_v – medelflöde för aktuell tappning (l/s)

I Figur 5.1 och Figur 5.2 syns skillnaden mellan variationer i det normerade tappflödet före och efter installation av VVC för lunchrummen respektive toalettutrymmena. Variationen av flöde är något större då VVC ej är installerat än då VVC har installerats för samtliga mätobjekt undantaget S-toaletterna.



a. Lunchrum 4:e vån utan VVC

b. Lunchrum 4:e vån med VVC

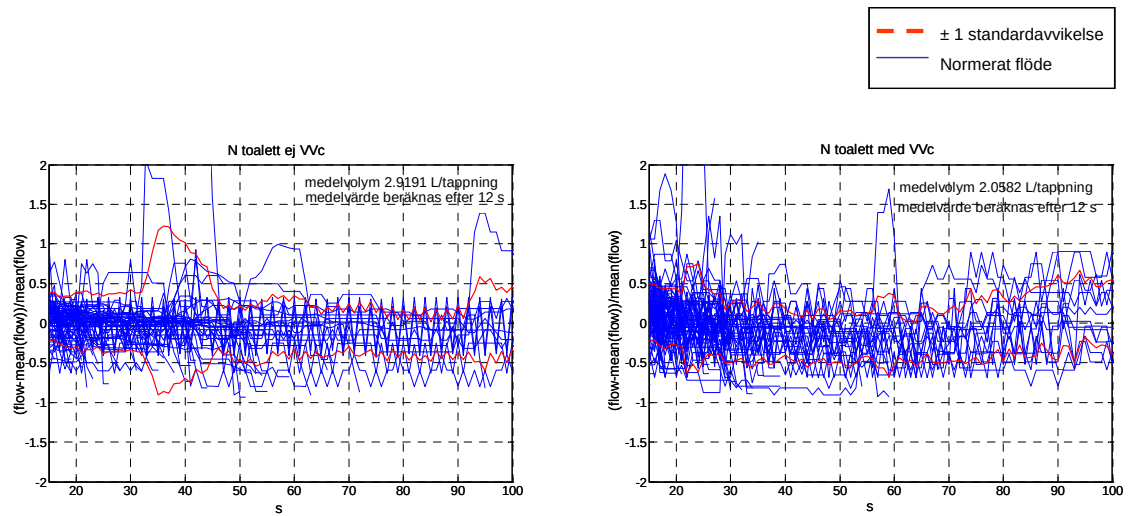


c. Lunchrum 3:e vån utan VVC

d. Lunchrum 3:e vån med VVC

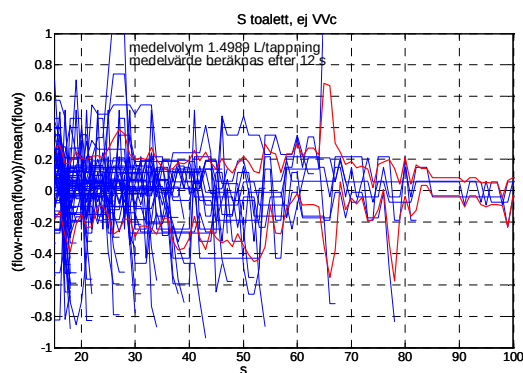
Figur 5.1.a-d: Variationer i tappförlopp i lunchrum.

Att standardavvikelsen minskar då VVC installerats syns främst i början av tappningarna och innebär att justeringen av varmvattenflöde är större innan installation av VVC. Detta kan förklaras med kortare väntetider för varmvatten då VVC har installerats. Efter 12 sekunder varmvattentappning har efter installation av VVC ofta en relativt hög temperaturnivå uppnåtts och därmed borde behovet av flödesjustering vara mindre.

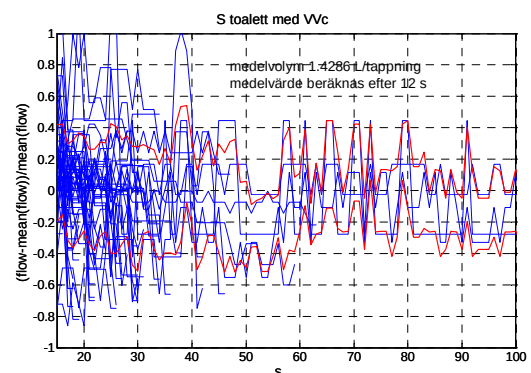


a. N toalettutrymme utan VVC

b. N toalettutrymme med VVC



c. S toalettutrymme utan VVC



d. S toalettutrymme med VVC

Figur 5.2.a-d: : Variationer i tappförlopp i toalettutrymmen.

I Figur 5.2.b ses att variationer i tappvarmvattenflöde är störst i början av tappningarna, för att sedan minska (norra toalettutrymmet). För de södra toalettutrymmena har standardavvikelsen över tiden generellt ökat då VVC installerats (se Figur 5.2.c-d).

Tabell 5.1 och Tabell 5.2 ses standardavvikelse för samtliga normerade flöden för lunchrummen respektive toalettutrymmen. För att undvika injusteringsfasen och slutfasen i tappningarna valdes standardavvikelsen att beräknas efter 12 sekunder och fram till 39 sekunders tappning. En högre standardavvikelse innebär ett flöde med större reglering, det vill säga mera flödesförändring (exempelvis kraftig spolning i början av tappningen). I tabellerna finns även medeltappvolym angiven.

Tabell 5.1: Standardavvikelse av normerade flöden samt medeltappvolym före och efter installation av VVC, lunchrum.

Lunchrum	4:e våningen	3:e våningen
Standardavvikelse utan VVC	0,32	0,89
Standardavvikelse med VVC	0,24	0,23
Medeltappvolym utan VVC	3,23 l/tappning	3,20 l/tappning
Medeltappvolym med VVC	3,58 l/tappning	3,46 l/tappning

Förändringen av standardavvikelse för flödesförändringen syns tydligast för lunchrummet på 3:e våningen. Detta kan förklaras med att detta lunchrum har diskmaskin och därför används inte lika mycket varmvatten, vilket innebär att starttemperaturen för tappningarna innan VVC installerades var lägre än i lunchrummet på 4:e våningen där varmvatten används mera frekvent. Lägre starttemperatur innebär att kraftigare spolning måste till för att erhålla varmt vatten och därmed kraftigare reglering av tappflöde, främst innan VVC installerades.

Tabell 5.2: Standardavvikelse av normerade flöden samt medeltappvolym före och efter installation av VVC, toalettutrymmen.

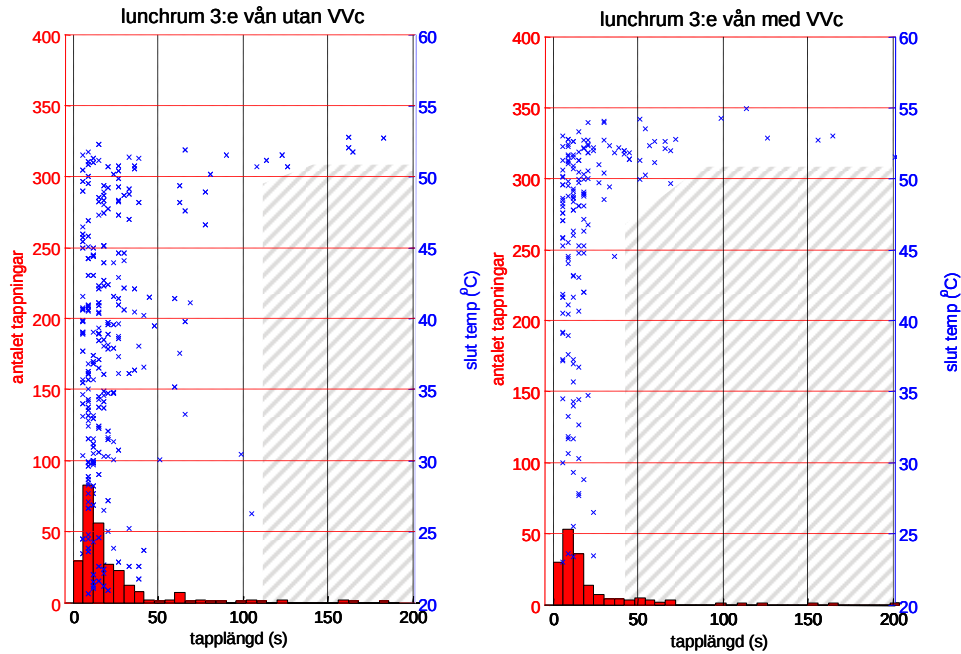
Toalettutrymme	Söder	Norr
Standardavvikelse utan VVC	0,31	0,49
Standardavvikelse med VVC	0,42	0,47
Medeltappvolym utan VVC	1,50 l/tappning	2,91 l/tappning
Medeltappvolym med VVC	1,43 l/tappning	2,06 l/tappning

För S-toalettutrymmet ökar standardavvikelsen då VVC installeras, det vill säga att större reglering av tappvarmvattenflöde sker efter att VVC installerats. För N-toalettutrymmet är standardavvikelsen i princip oförändrad. Att standardavvikelsen ökade för S-toalettutrymmet kan hänföras till den tidigare mycket dåliga varmvattenkvalitén. Efter installation av VVC uppnådde betydligt fler tappningar komforttemperaturer och därmed torde behovet av att reglera flödet vara större efter installation av VVC.

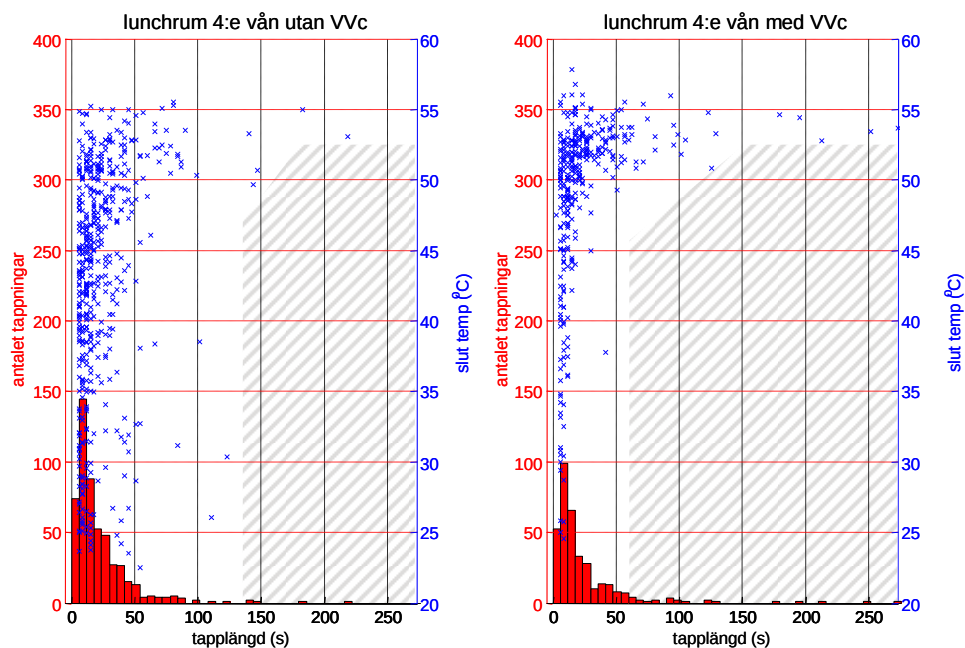
5.2 TEMPERATURANALYS

För att finna eventuella samband mellan tapplängd och sluttemperatur plottas temperaturförlopp som funktion av tapptider i Figur 5.3-Figur 5.10. De analyserade tappningarna är utsorterade så att samtliga tappvolymen är större än 0,11 l (ungefär ett halvt dricksglas) för att undvika analys av alltför korta tappningar som har ett mera slumpartat temperaturförlopp. Volymen 0,11 l motsvarar uppskattad vattenvolym i de aktuella kopplingsledningarna.

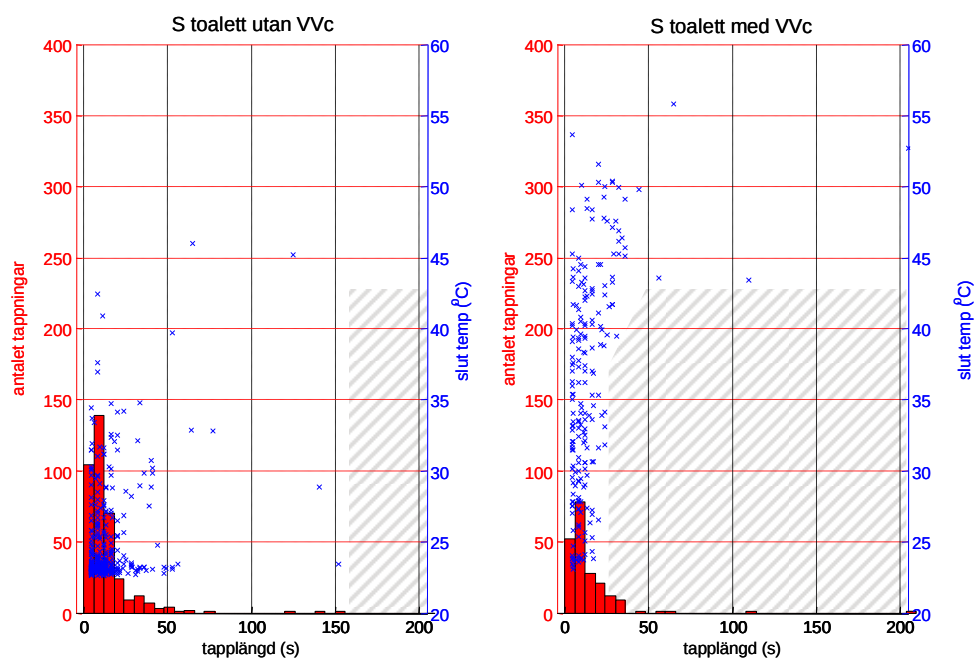
I Figur 5.3-Figur 5.6 finns sluttemperaturer som funktion av tapplängden för de olika mätställena före och efter installation av VVC. Mönstren som framträder är tydliga. Efter installation av VVC är tappningar med låg sluttemperatur endast koncentrerade till de kortaste tappningarna.



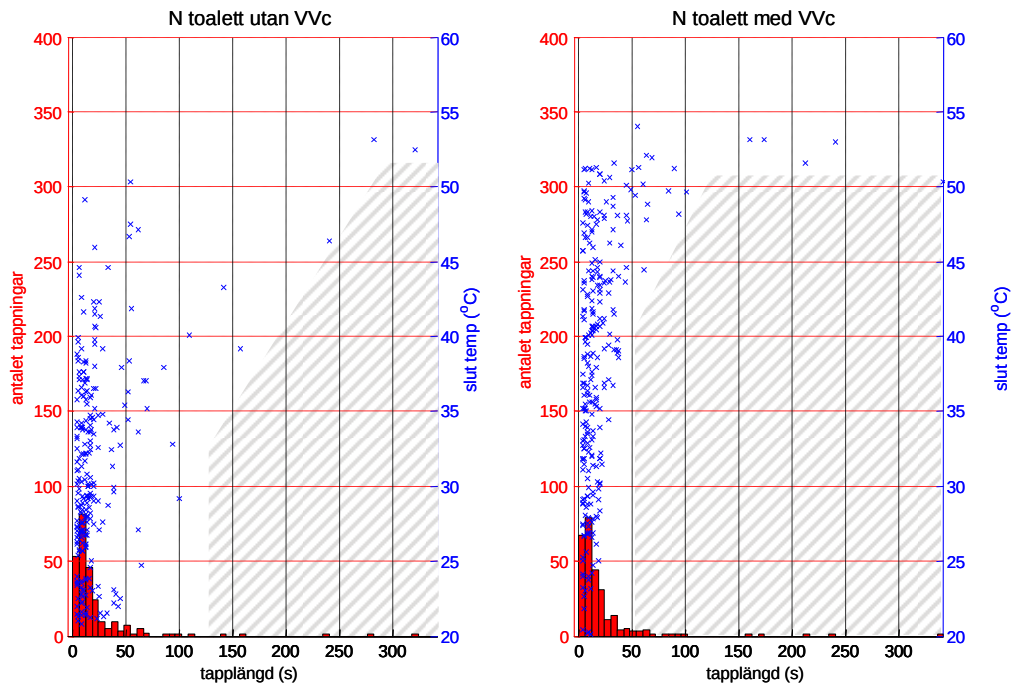
Figur 5.3: Sluttemperaturer och antalet tappningar som funktion av tapplängder före och efter installation av VVC för lunchrummet på 3:e våningen.



Figur 5.4: Sluttemperaturer och antalet tappningar som funktion av tapplängder före och efter installation av VVC för lunchrummet på 4:e våningen.

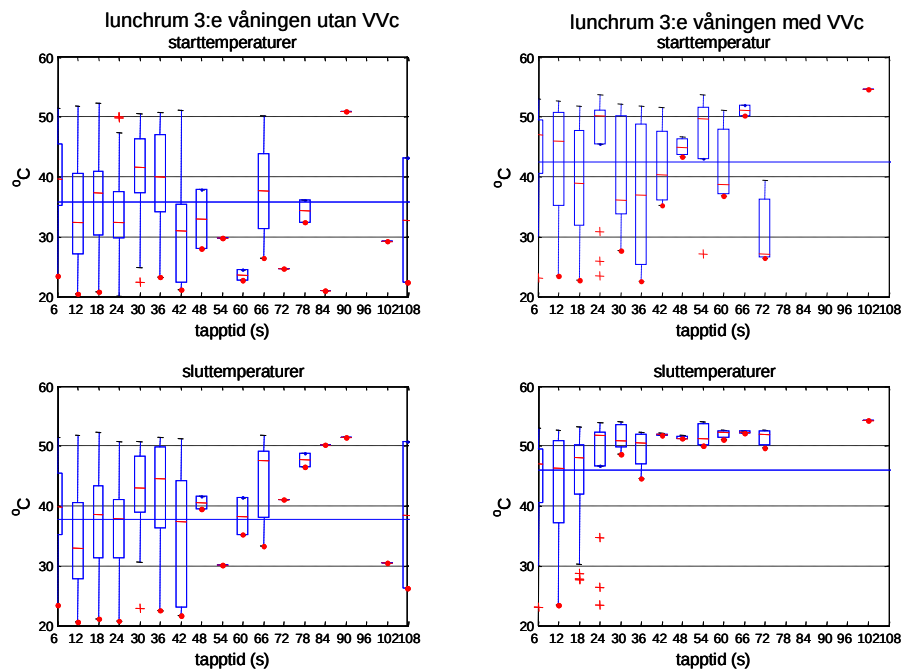


Figur 5.5: Sluttemperaturer och antalet tappningar som funktion av tapplängder före och efter installation av VVC för S toalettutrymmena.

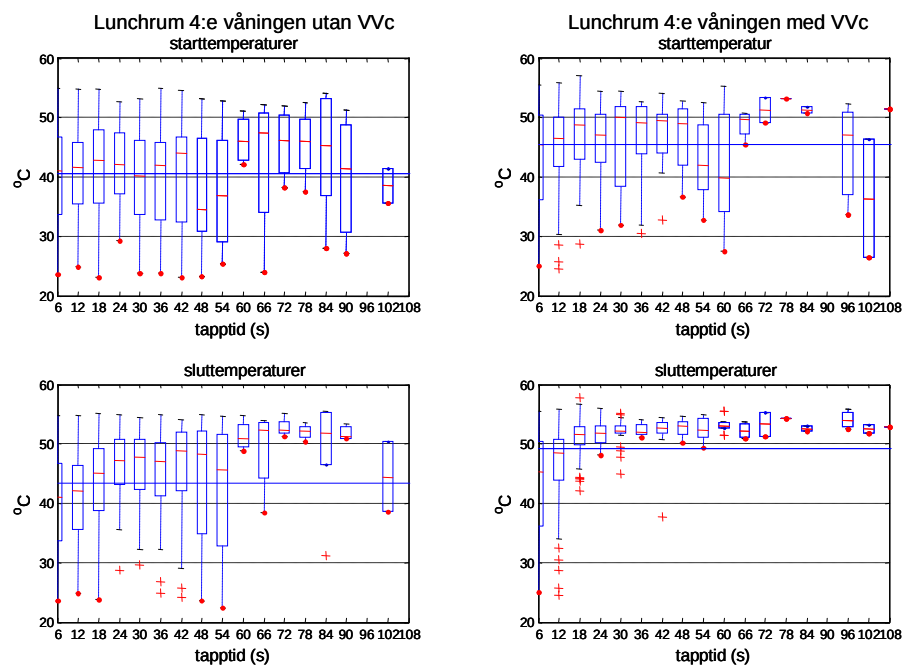


Figur 5.6: Sluttemperaturer och antalet tappningar som funktion av tapplängder före och efter installation av VVC för N toalettutrymmet.

För att åskådliggöra spridningen i start- och sluttemperaturer visas i Figur 5.7-Figur 5.10 en boxplot över spridningen av temperaturer mot tapptid uppdelat i sexsekundersintervall. Boxploten visar övre och undre kvartil (rektangel), medianvärde (horisontell linje i rektangeln) samt spridningen av mätdata (lodrät linje ut från rektangeln). Prickarna innebär att all mätdata ryms inom den angivna spridningen. I annat fall markeras extrema mätdata (sk outliers) med ett kors utanför spridningen av mätdata. Den horisontella linjen genom hela diagrammet är medeltemperatur för aktuellt tappställe.

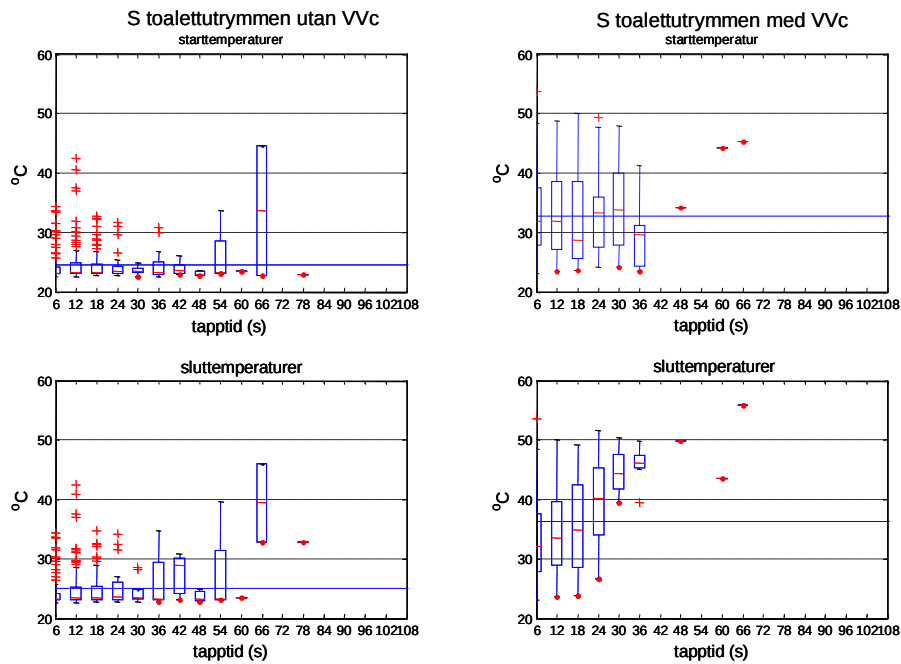


Figur 5.7: Start och sluttemperaturer uppdelat på olika tapptider för lunchrummet på 3:e våningen före och efter installation av VVC.

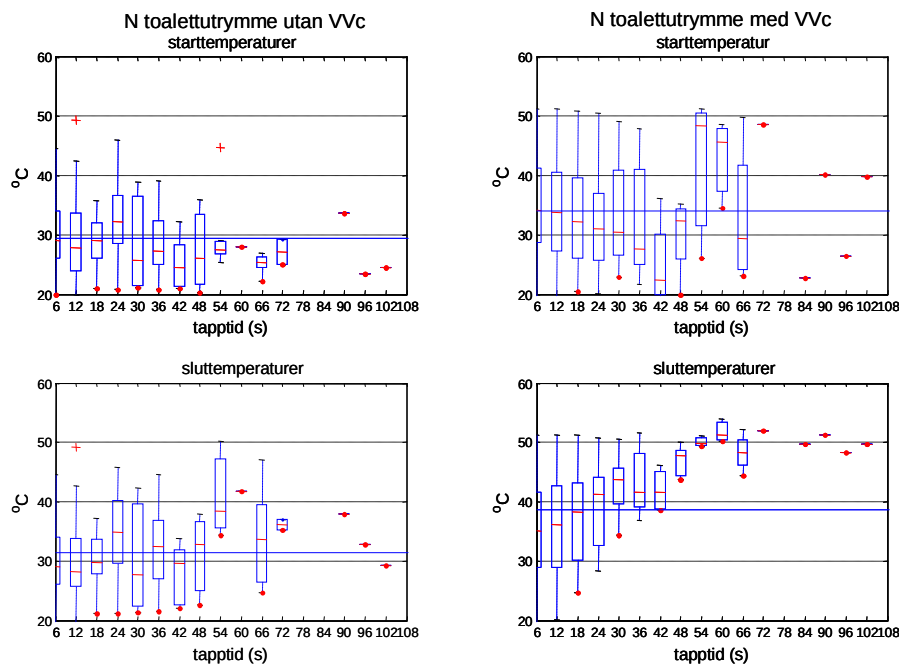


Figur 5.8: Start och sluttemperaturer uppdelat på olika tapptider för lunchrummet på 4:e våningen före och efter installation av VVC.

Vid jämförelse av starttemperatur mellan lunchrum på 3:e våningen och 4:e våningen ses att medelstarttemperatur är betydligt lägre för lunchrummet på 3:e våningen än det på 4:e våningen. Detta kan förklaras med skillnader i tappvarmvattenanvändningen. I lunchrummet på 3:e våningen finns diskmaskin, och därmed används tappvarmvatten i lika stor utsträckning som i lunchrummet på 4:e våningen. I lunchrummen används tappvarmvattnet periodvis intensivt kring lunch och kafferaster, särskilt då för lunchrummet utan diskmaskin där handisk förekommer. Under dessa intensiva perioder hinner temperaturen på tappvarmvattnet ej sjunka i kopplingsledningen vilket medför att både start- och sluttemperaturer för dessa tappningar är höga.



Figur 5.9: Start och sluttemperaturer uppdelat på olika tapptider för S toalettutrymmena före och efter installation av VVC.

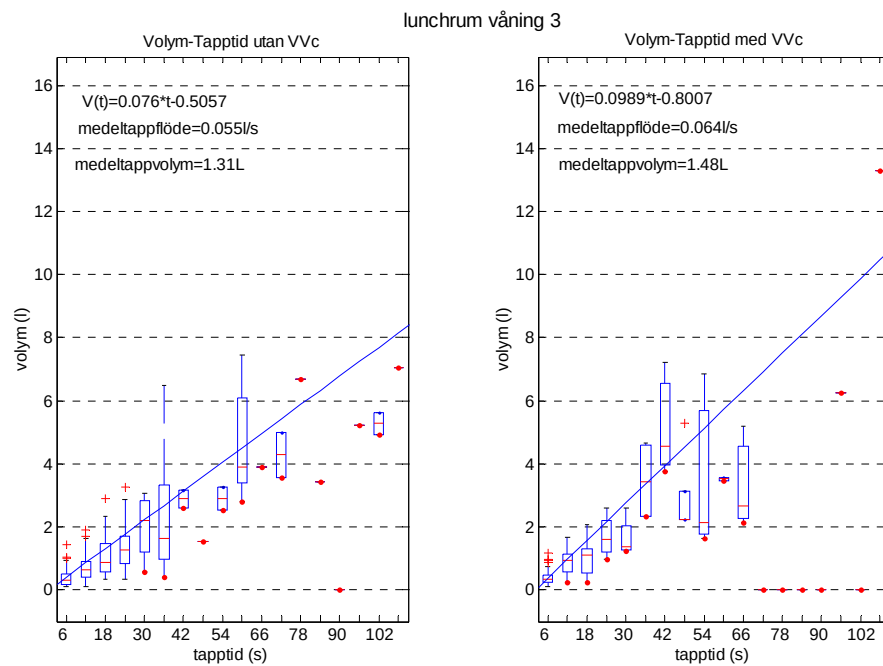


Figur 5.10: Start och sluttemperaturer uppdelat på olika tapptider för N toalettutrymmet före och efter installation av VVC.

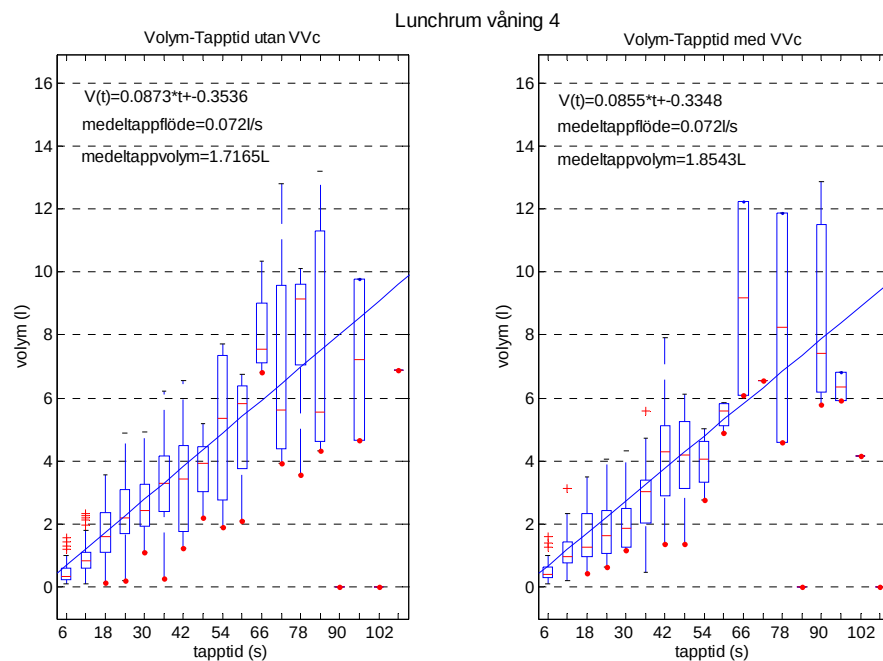
I samtliga fall stiger medelsluttemperaturen kraftigt då VVC installeras. Tydligast märks detta i lunchrummen samt i S-toalettutrymmena. För S-toaletterna har genomsnittlig tapptemperatur höjts med 10°C och för övriga mätobjekt något mindre. Spridningen för sluttemperatur för längre tappningar har minskat kraftigt och mediantemperaturerna höjts kraftigt, främst för tappningar längre än 18 sekunder.

5.2.1 Tappvarmvattenanvändning

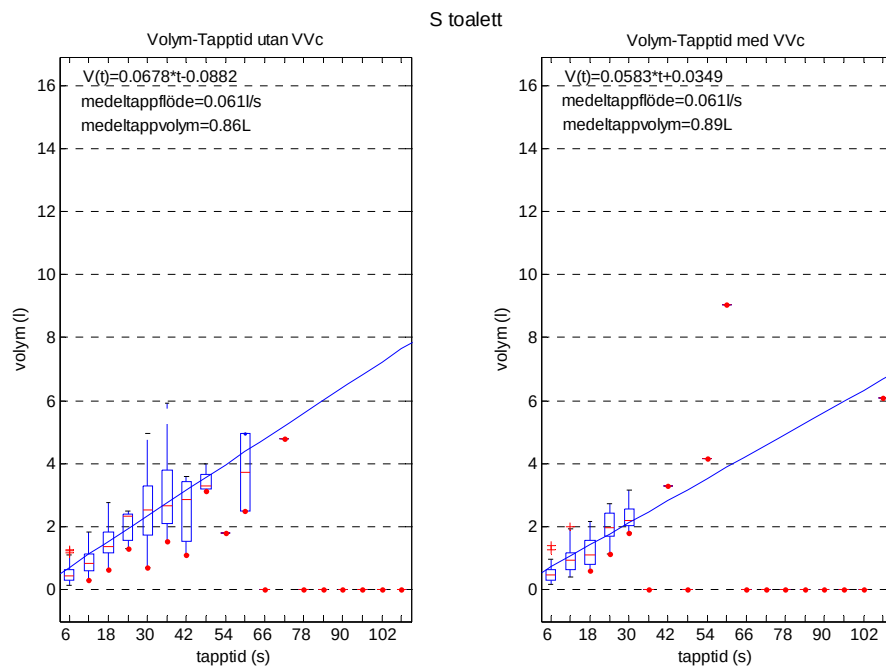
För att undersöka förändringar i tappvarmvattenanvändning före och efter installation av VVC har ett samband mellan tapptid och tappvolym tagits fram i Figur 5.11-Figur 5.14. I figurerna finns även spridningen av tappad volym samt medeltappflöde och medeltappvolym angiven. Samtliga tappningar som är större än 0,11 liter analyseras.



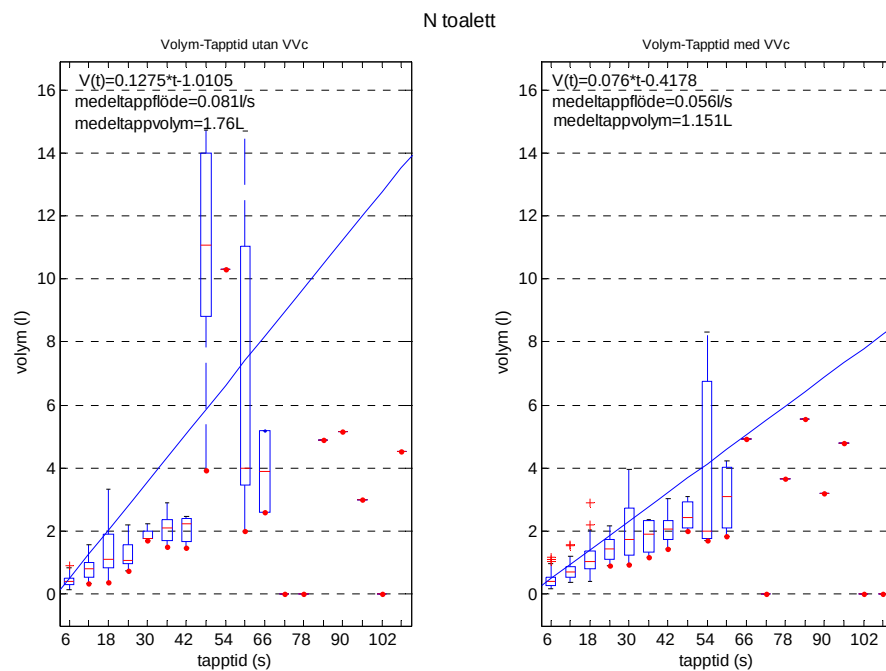
Figur 5.11: Tappvolym mot tapptid för lunchrummet på 3:e våningen före och efter installation av VVC.



Figur 5.12: Tappvolym mot tapptid för lunchrummet på 4:e våningen före och efter installation av VVC.



Figur 5.13: Tappvolym mot tapptid för S toalettutrymmena före och efter installation av VVC.



Figur 5.14: Tappvolym mot tapptid för N-toalettutrymmet före och efter installation av VVC.

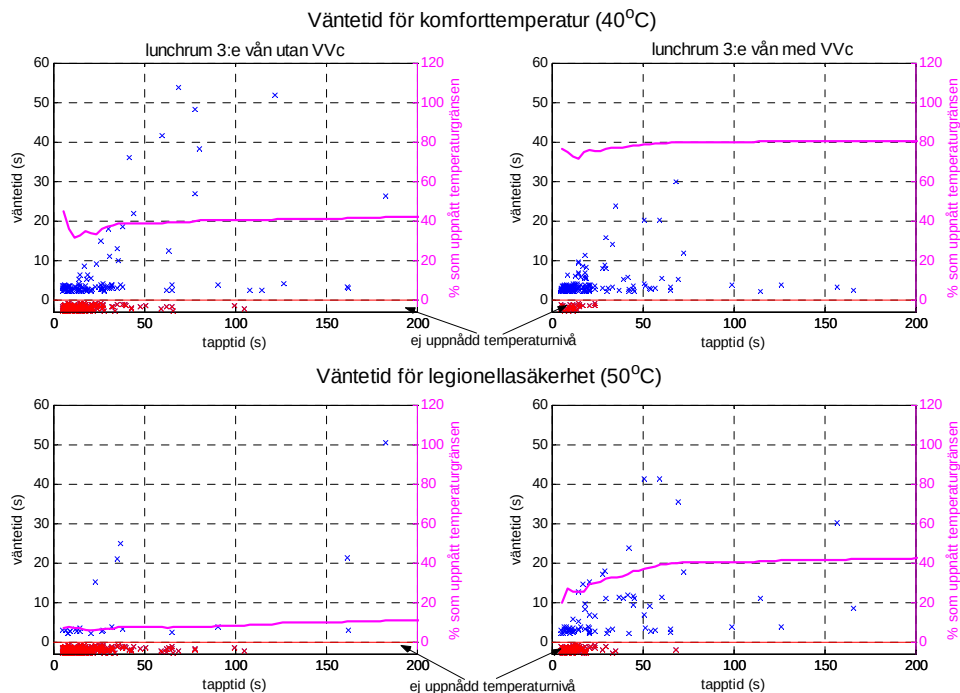
Förändringen av medeltappvolym och medeltappflödet i lunchrummet på 4:e våningen och S-toaletterna är små efter installation av VVC. Medeltappvolymen och medeltappflödet

ökade i lite större utsträckning för lunchrummet på 3:e våningen. För N-toaletterna minskar däremot medeltappvolymen och medeltappflödet markant då VVC installeras.

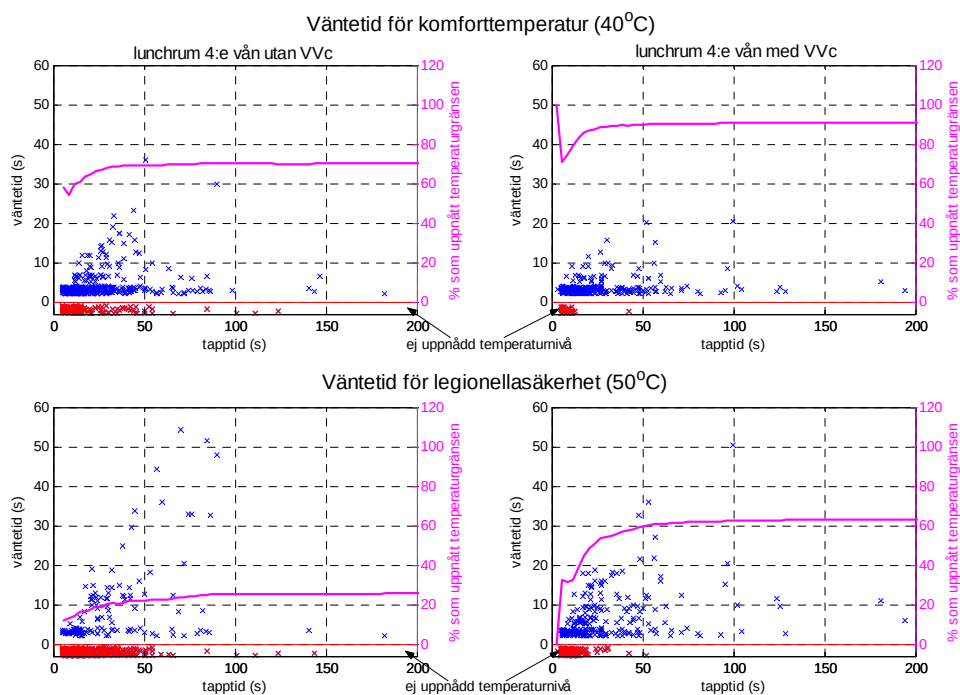
Förändringarna beror sannolikt på skillnader i tappningsmönster och brukarens krav på varmvattentemperaturer. I N-toalettutrymmet där medeltappvolymen och medeltappflödet minskat behöver inte brukaren längre göra kraftiga spolningar för att få tillräckligt varmt tappvatten. Att detta toalettutrymme sticker ut med avseende på brukare förklaras i kapitel 1.

5.2.2 Väntetider

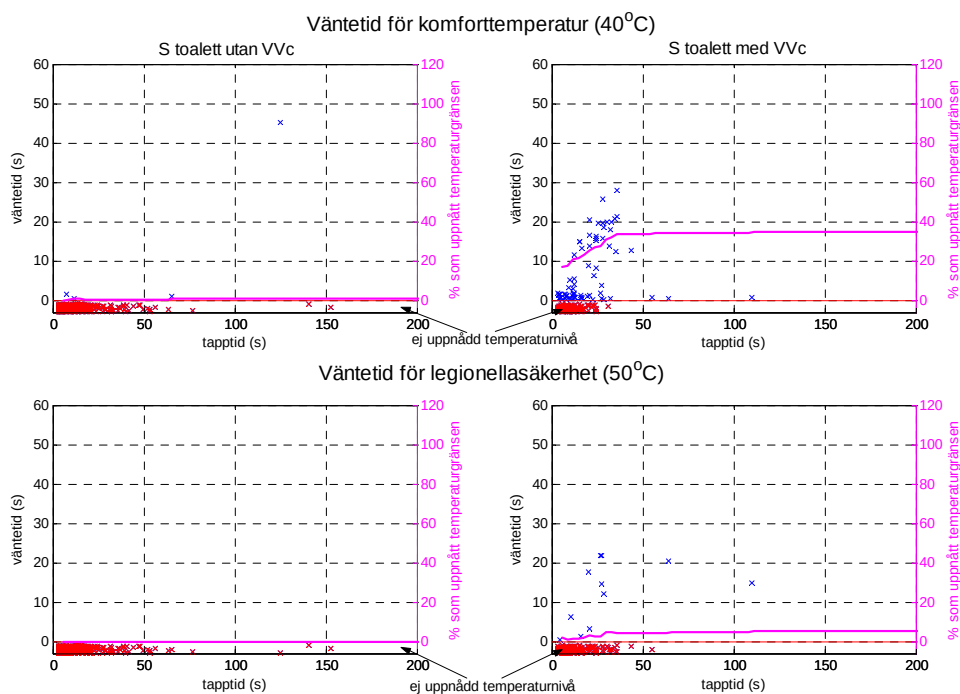
Påverkan av tappvarmvattenkvaliteten undersöks här genom förändring av väntetider på varmvatten, dels till en komforttemperatur på 40°C och en legionellasäker temperaturnivå på 50°C. I Figur 5.15-Figur 5.18 presenteras väntetider för de olika tappställena före och efter installation av VVC. I figurerna finns även andelen tappningar som uppnått aktuell temperaturgräns efter en viss tapptid. Tappningar som har en negativ väntetid (kryss) skall tolkas som tappning som ej hinna uppnå aktuell temperaturgräns. Samtliga tappningar är större än 0,11 liter.



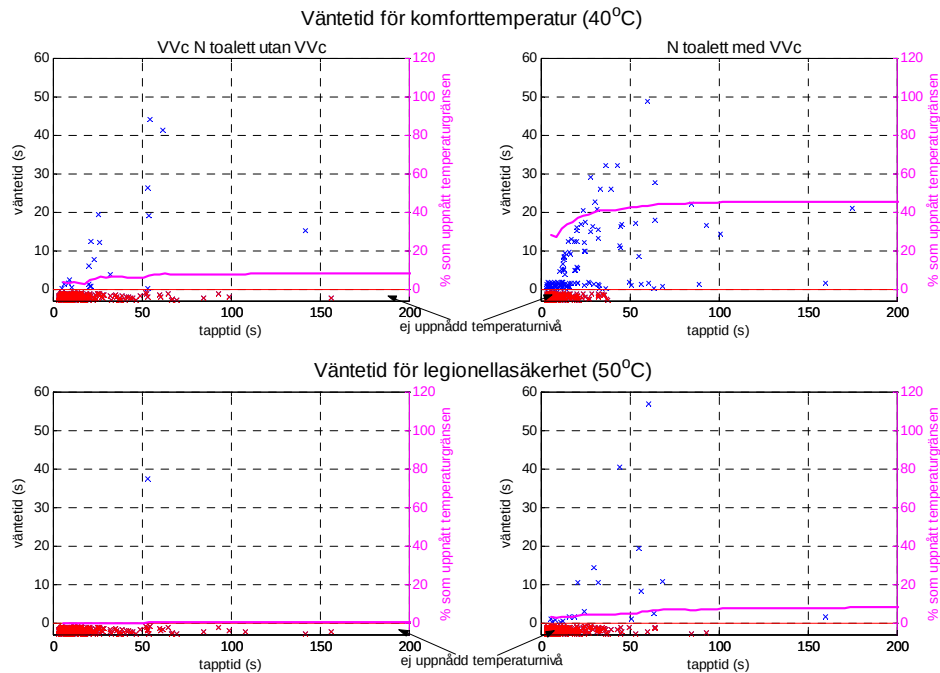
Figur 5.15: Väntetider för komforttemperatur och legionellasäker temperaturnivå för lunchrummet på 3:e våningen före och efter installation av VVC.



Figur 5.16: Väntetider för komforttemperatur och legionellasäker temperaturnivå för lunchrummet på 4:e våningen före och efter installation av VVC.



Figur 5.17: Väntetider för komforttemperatur och legionellasäker temperaturnivå för S-toalettutrymmena före och efter installation av VVC.



Figur 5.18: Väntetider för komforttemperatur och legionellasäker temperaturnivå för N-toalettutrymmet före och efter installation av VVC.

Det syns tydlig skillnad i tappvarmvattenkvaliteten före och efter installation av VVC. I lunchrummen ökas antalet tappningar som uppnår legionellasäkerhet markant. Från att innan installation av VVC vara 11 respektive 26 % av alla tappningar som uppnådde 50°C ökade andelen till 42 respektive 63 % efter installation av VVC för lunchrummen på våning 3 respektive 4.

Innan VVC installerades i toalettutrymmena var det endast en tappning som uppnådde en temperatur över 50°C, trots att flera tappningar var över 40 s. Även andelen tappningar som nått upp till 40°C var få. Med installerad VVC uppnådde betydligt fler tappningar 40°C. Efter installation av VVC uppnådde samtliga tappningar längre än 47 sekunder i toalettutrymmena 40°C. Innan installation av VVC nådde ca 1 respektive 10 % av tappningarna komforttemperaturnivån på 40°C för södra respektive norra toalettutrymmet. Detta kan jämföras med 35 respektive 42 % efter installation av VVC.

6 ENERGIANVÄNDNING

Skillnaden i energianvändning före och efter installation av VVC är direkt kopplad till förändring i tappvolym om de ökande värmeförlusterna negligeras. Energianvändningen beräknas enligt:

$$Q = c_p \cdot V_{tapp} \cdot \rho \cdot (t_{vv} - t_{kv}) \quad \left\langle \frac{\text{kJ}}{\text{tappning}} \right\rangle$$

där:

c_p – specifik värmekapacitet	$\left\langle \frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot \text{K}} \right\rangle$
ρ – densitet	$\left\langle \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \right\rangle$
V_{tapp} – medeltappvolym	$\left\langle \text{m}^3 \right\rangle$
t_{vv} – utgående VV temperatur	$\langle 55,95^\circ\text{C} \rangle$
t_{kv} – inkommande KV temperatur	$\langle 14,32^\circ\text{C} \rangle$

Energianvändningen beräknas för samtliga tappningar större än 0,11 liter (Tabell 6.1).

Tabell 6.1: Energianvändning före och efter installation av VVC. Tappvolym > 0,11 liter

	Medeltappvolym		Medelenergianvändning		förändring
	Utan VVC	Med VVC	Utan VVC	Med VVC	
	(l)	(l)	(kJ)	(kJ)	
Lunchrum 3:e vån	1,31	1,48	229,08	258,80	12,98
Lunchrum 4:e vån	1,72	1,85	300,77	323,50	7,56
S-toalett	0,86	0,89	150,39	155,63	3,49
N-toalett	1,76	1,15	307,77	201,10	-34,66

För analys av större tappningar där sluttemperaturen förväntas vara av större vikt beräknas i Tabell 6.2 skillnader i energianvändning för samtliga tappningar större än 0,5 l.

Tabell 6.2: *Energianvändning före och efter installation av VVC. Tappvolym > 0,5 L*

	Medeltappvolym		Medelenergianvändning		förändring
	Utan VVC	Med VVC	Utan VVC	Med VVC	
	(L)	(L)	(kJ)	(kJ)	(%)
Lunchrum 3:e vån	3,2	3,46	559,57	605,04	8,12
Lunchrum 4:e vån	3,26	3,58	570,07	626,02	9,82
S-toalett	1,5	1,43	262,30	250,06	-4,67
N-toalett	2,91	2,06	508,86	360,23	-29,21

Energianvändningen ökar i samtliga fall för tappningar större än 0,11 l förutom för tappningar i N-toaletterna. Ökningen i energianvändning varierar mellan 3,5 och 13 %. Då enbart tappningar större än 0,5 l analyseras ökar energianvändningen endast i lunchrummen.

N-toaletterna sticker ut och har i båda fallen har en energiminskning på 35 respektive 29 % då VVC installeras. Mätningarna i detta toalettutrymme är dock inte helt jämförbara då detta toalettutrymme hade en annan typ av brukare än de övriga mätobjekten, se kapitel 1.

Även om energianvändningen ökar, det vill säga den energi som åtgår för att producera en viss volym vatten, innebär detta inte en försämring av systemet. Samtidigt har, eftersom tappvarmvattentemperaturen ökat, en större mängd av den tillsatta energin kunnat utnyttjas av brukaren.

7 TILLFÖRLITLIGHET TILL MÄTDATA

Mätningarna i det norra toalettutrymmet är ett undantag då det gäller användningsmönster eftersom det förekom ett omfattande renoveringsarbete i närheten av dessa toaletter under mätperioden. Byggnadsarbetare använde tappställena i detta utrymme för handtvätt, vilket innebär att gruppen av brukare inte är den normala. Bruket av dessa tappställen var under mätperioden intensivt.

Resultatet av mätningarna vid N-toaletterna är dock intressant eftersom två kategorier av tappningar kan jämföras:

- snabb handtvätt efter toalettbesök (S-toalettutrymmena)
- ordentlig handtvätt där långa spolningar och varmvatten är nödvändig (N-toalettutrymmet)

Det visar sig att byggnadsarbetarna som brukar de norra toaletterna är intresserade av tappvarmvattenkvaliteten och därför spolat allt ljummet vatten som står i kopplingsledningen ut. Därför sjunker både tappvarmvattenanvändningen och energiförbrukningen markant då VVC installerats.

Att tappvarmvattenanvändningen och energiförbrukningen för en tappning minskar då brukaren är intresserad av tappvarmvattenkvaliteten är direkt överförbar på duschar där brukaren alltid är intresserad av tappvarmvattenkvaliteten.

8 SLUTSATSER

Presenterad studie av varmvattenanvändning och temperaturförlopp i ett tappvarmvattensystem gäller förändringar genomförda i en högskolebyggnad, M-huset, Lunds tekniska högskola. De undersökta mätperioderna var dock för korta (sammanslagt två veckor) för att ge en generell bild av hur införande av varmvattencirkulation påverkar användningsmönster. Mätningarna ger dock en god bild av temperaturförlopp och väntetider på varmvatten för olika typer av tappställen i M-huset.

Efter inventering och ombyggnad av VVC-kretsen har tack vare installation av termostatiska VVC-ventiler korrekta temperaturnivåer uppnåtts, något som inte var fallet innan dessa ventiler installerades. Termostatiska ventiler utgör i ett omfattande system det enda realistiska alternativet för att uppnå korrekta temperaturnivåer i hela VVC-kretsen. Det är dock viktigt att differensstrycket i kretsen är tillräcklig för att ge ventilerna reglerauktoriteten. I utsträckta system kan ventiler i perifera VVC-slingor behöva högre börvärde än de belägna i närheten av fjärrvärmecentralen för att uppnå tillräckliga temperaturnivåer i samtliga slingor. Det är därför viktigt att kontrollera temperaturnivåer i VVC-kretsens olika delar och inte endast kontrollera returtemperaturen på återvändande VVC i fjärrvärmecentralen. Genom att försäkra sig om att temperaturnivåerna i hela VVC-slingan är över 50°C förebygges risken för legionellatillväxt i det cirkulerande varmvattnet.

När extra VVC-slingor installeras i en byggnad, ökar som väntat energiförlusterna i systemet eftersom sträckan med cirkulerande varmvatten ökar. Värmeförlusternas storleksordning i M-huset kunde inte analyseras då vissa röravsnitt var oisolerade och/eller ingjutna i betongväggar. Att däremot analysera förändringen av energianvändningen går bra då detta är proportionerligt mot varmvattenanvändningen.

Generellt konstaterades att energianvändningen i de undersökta lunchrummen ökade efter att de försågs med VVC. Detta kan ses som ett kvitto på att brukaren i dessa rum är intresserad av tappvarmvatten med rätt (hög) temperatur och att temperaturen inte var tillräcklig tidigare. Då det gäller energianvändningen i toaletterna var den i stort sett oförändrad i ett toalettblock (S) medan den sjönk markant i ett annat toalettblock (N). Man kan anta att brukaren i S-toaletterna endast är intresserad av korta tappningar för handtvätt där tappvarmvattentemperaturen inte anses särskilt viktig, något som bekräftas av de låga sluttemperaturerna för tappningar i dessa toaletter. Brukare i N-toaletterna var däremot till stor del byggnadsarbetare som utförde en ombyggnad i den delen av huset. Uppenbarligen behövde de vatten med rätt temperatur för att få händerna rena, något de fick utan att behöva spola bort ljummet vatten efter det att VVC infördes. Detta fenomen är ett typiskt exempel på nytta med VVC.

Temperaturkomforten ökade betydligt i lunchrummen med införande av VVC. Till exempel har väntetiderna för att uppnå tapptemperatur på 50°C minskat. Detta innebär att de kraftiga spolningarna som tidigare behövdes för att få varmvatten har minskat, framförallt i lunchrummet på 3:e våningen. Andelen tappningar som uppnådde 50°C har mer än fördubblats för de båda lunchrummen efter installation av VVC och blev drygt 40% för lunchrummet på våning 3 och drygt 60% för lunchrummet på våning 4. Av tappningar

längre än 40 sekunder är det bara tre som inte uppnår 50°C med VVC installerat mot över 30 innan VVC installerades.

Då det gäller temperaturnivåer på tappningar i toaletterna är det väldigt få tappningar som uppnår 50°C. Detta beror delvis på att tappningarna är korta och inte så frekventa, vilket innebär att de har låga starttemperaturer och sluttemperaturer. Innan VVC installerades var det inga tappningar i toaletterna som uppnådde 50°C. Efter installation av VVC uppnådde mellan 5 och 10% av tappningarna 50°C. För det N-toalettutrymmet kan detta även förklaras med låg VVC-temperatur. Andelen tappningar som uppnår 40°C inom 40 sekunder är efter installation av VVC 35% mot mindre än 15% innan VVC installeras.

Vid ombyggnad och renovering av fastigheter med begränsad VVC är det viktigt att förse så många som möjligt av byggnadens tappställen med VVC för att förebygga såväl irriterande väntetider som att förebygga hälsorisker.

Rapport II

HUSINTERNA VÄRMESYSTEM

Pumpplacering, avluftning

Forskning och Utveckling | 2005:136

Per-Olof Johansson
Janusz Wollerstrand
Institutionen för värme- och kraftteknik, LTH

ISSN 1401-9264
© 2005 Svensk Fjärrvärme AB
Art nr FOU 2005:136

SAMMANFATTNING

I denna rapport undersöks genom intervjuer av branschaktiva aktörer faktorer som påverkar placering av cirkulationspump, påfyllnad och avluftning av radiatorsystem.

Det konstaterades att det förekommer olika placeringar av cirkulationspumpen i förhållande till värmeväxlaren, och att argumenten för de olika placeringarna skiljer sig åt. Flertalet branschaktörers motivering till placeringen av cirkulationspumpen är erfarenhetsmässiga och/eller av praktisk karaktär.

Den viktigaste faktorn som framkom i denna undersökning då det gäller pumpens placering är hur den är placerad i förhållande till expansionskärlet. För att säkerställa god tryckhållning i hela systemet bör expansionskärlet placeras på pumpens sug sida utan mellanliggande trycksänkande komponenter. Med denna placering erhålls övertryck i hela systemet och därmed minskar risken för insugning av luft.

För att undvika kavitation i pumpen måste ett visst statiskt tryck finnas på pumpens sug sida. Detta tryck ökar då temperaturen stiger, vilket måste beaktas då pumpen placeras i framledningen till radiatorerna. Ur den synvinkeln är en placering av cirkulationspumpen i returledningen från radiatorerna att föredra.

Då det gäller råd till branschen om placering av cirkulationspump är det antagligen av stor vikt att utreda och tydligt specificera fördelarna och nackdelarna med en viss placering för att råden ska få genomslagskraft. Det framkom i undersökningen ett behov av anvisningar för att vid fjärrvärmeanslutning få de husinterna systemen att fungera väl, och då främst vid konvertering av äldre värmesystem med pannor och shuntgrupper.

Påfyllnad och avluftning av radiatorsystem är av stor vikt för dess funktion. Ett system med för mycket luft är svårt att få ordentligt injusterat. Luft i radiatorsystemet leder till försämrat värmekomfort, ökad risk för korrosion, missljud och pumphaverier. För att undvika detta är det av stor vikt att få bort den luft som kommer in i systemet vid påfyllnad samt att ingen ny luft tillsätts. En möjlighet att åstadkomma påfyllnad med syrefritt vatten är att fylla radiatorsystemet med fjärrvärmevatten eller avkokat/avgasat vatten, något som förekommer på vissa anläggningar både i Sverige och i våra nordiska grannländer.

Om radiatorsystemet är av lågtemperaturtyp innebär detta att mera luft kan ingå som lösning i vattnet vilket kan ställa till med problem. För att undvika detta kan en permanent luftavskiljare installeras, antingen i form av en mikrobubbelavskiljare, eller en undertrycksavgasare.

Intresse för att fylla radiatorsystem med avgasat vatten finns hos VVS-konsulter och tillverkare av fjärrvärmecentraler, men detta kräver även intresse från värmeleverantörerna för att detta skall bli praktiskt genomförbart i större utsträckning.

INNEHÅLLSFÖRTECKNING

1	INLEDNING	- 1 -
1.1	Bakgrund	- 1 -
1.2	Syfte och metod	- 1 -
2	LITTERATURSTUDIE	- 3 -
2.1	Cirkulationspump och expansionskärl	- 3 -
2.2	Luftproblem	- 5 -
2.3	Påfyllnad och avluftning	- 5 -
3	INTERVJUER MED BRANSCHAKTIVA AKTÖRER	- 7 -
3.1	VVS-konsulter	- 7 -
3.1.1	Värmeväxlare	- 7 -
3.1.2	Cirkulationspump	- 7 -
3.1.3	Påfyllnad av radiatorsystemet	- 8 -
3.1.4	Avluftning	- 8 -
3.2	Tillverkare av fjärrvärmecentraler	- 9 -
3.2.1	Placering av cirkulationspump	- 9 -
3.2.2	Påfyllnad	- 10 -
3.2.3	Avluftning	- 10 -
3.2.4	Luftproblem	- 11 -
3.2.5	Övriga synpunkter	- 11 -
3.3	Radiator tillverkare	- 11 -
3.3.1	Syrehalter och avluftning	- 11 -
3.3.2	Luftproblem	- 11 -
3.4	Tillverkare av cirkulationspumpar och luftavskiljare	- 12 -
3.4.1	Pumpens placering	- 12 -
3.4.2	Luftavskiljare	- 12 -
3.5	Övriga kontakter	- 13 -
3.5.1	Placering av cirkulationspump och expansionskärl	- 13 -
3.5.2	Avluftning	- 13 -
3.5.3	Luftproblematik	- 13 -
3.6	Nordiska erfarenheter	- 14 -
3.6.1	Danmark	- 14 -
3.6.2	Finland	- 14 -
3.6.3	Norge	- 14 -
4	DISKUSSION	- 17 -
4.1	Tryckhållning vid olika placeringar av cirkulationspump och expansionskärl	- 17 -
4.2	Påfyllnad	- 19 -
5	SLUTSATSER	- 21 -
6	REFERENSFÖRTECKNING	- 23 -

1 INLEDNING

1.1 BAKGRUND

Vid anslutning av fjärrvärme till ett uppvärmningssystem finns det flera möjliga kopplingsprinciper på det sekundära värmesystemet. Flera komponenter skall samverka för att få ett väl fungerande värmesystem med avseende på komfort och driftekonomi.

I Sverige finns inga klara rekommendationer kring de tekniska delarna av värmesystemets installation, utan kraven ligger på funktion. Det finns således ett behov av att utreda och undersöka faktorer bakom placeringen av de olika tekniska komponenterna i radiatorsystemet.

På uppdrag av Svensk Fjärrvärme utreds i denna rapport vilka faktorer som ligger bakom förekommande placeringar av radiatorketsens cirkulationspump och kringliggande komponenter.

Motivet till denna studie är att genom undersökning av erfarenheter inom branschen kring husinterna radiatorsystem utgöra underlag för behov av framtida forskningsstudier.

1.2 SYFTE OCH METOD

Syftet med föreliggande arbete är att undersöka vilka faktorer som inom branschen påverkar cirkulationspumpens placering, avluftningsmetoder och påfyllnad av radiatorsystem av olika storlekar. Tillvägagångssättet är litteraturstudier och intervjuer inom VVS- och fjärrvärmebranschen. I projektet sammanställs svaren på ovannämnda frågor från VVS-konsulter samt från tillverkare av pumpar, radiatorer, fjärrvärmecentraler och avluftare. Litteratur relevant för ämnet har sökts och sammanställts.

Studien omfattar även i mindre utsträckning våra nordiska grannländer.

2 LITTERATURSTUDIE

Litteratur som behandlar för och nackdelar då det gäller olika placeringar av cirkulationspumpar och avluftsanordningar verkar vara en bristvara. Samtal med professor Lars Jensen, institutionen för installationsteknik vid LTH, bekräftar detta.

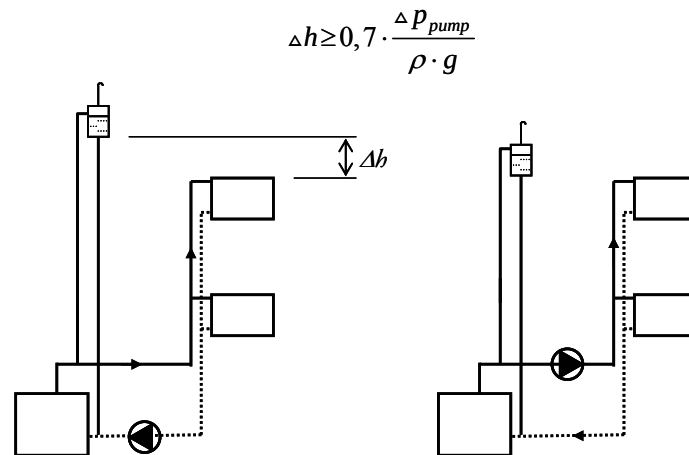
Mycket av de här redovisade fakta baseras därför på de principskisser och de relaterande texter som hittats främst i litteratur inom ämnesområdet installationsteknik samt Svensk Fjärrvärmes publikationer angående fjärrvärmecentralers utförande. VVS-installatörerna har i förordet på teknikhandboken 2005 påpekat att det finns en lucka inom litteraturen då en informativ handbok som riktar sig till installatörerna saknas. Teknikhandboken är tänkt att täcka denna lucka. Boken är utformad för att vara behjälplig vid installations- och projekteringsarbete och har utformningen av en större fickalmanacka, och kommer att följas upp med bearbetade versioner.

2.1 CIRKULATIONSUMP AND EXPANSIONSKÄRL

Då det gäller pumpens placering föreskriver Svensk Fjärrvärme ingen direkt placering, utan endast att: "Pumpen ska klara den tryckklass som radiator- och ventilationssystemet är dimensionerat för och vald med lämplig uppföringshöjd och flöde. Varvtalsstyrning av pump rekommenderas." [1]. Föreskrifter angående expansionskärls placering är av rekommenderande art: "Slutna expansionskärl ansluts med fördel på ledning till värmväxlaren." [1]. I samtliga två illustrationer över de vanligaste kopplingsprinciperna i Svensk Fjärrvärmes skrift Fjärrvärmecentralen utförande och installation tekniska bestämmelser F:101 är cirkulationspumpen placerad på returledningen från radiatorsystemet [1]. I skriften Fjärrvärmecentraler kopplingsprinciper som är ett komplement till F:101 är däremot majoriteten av anläggningar med huvudpump för radiatorsystemet placerad på framledningen [2].

I VVS-installatörernas teknikhandbok finns ett avsnitt som behandlar fjärrvärmekopplingar. I illustrationerna till detta avsnitt är cirkulationspumpen placerad i framledningen till radiatorerna. Tilläggas kan att denna pumpplacering inte endast gäller fjärrvärmeanläggningar, utan gäller även andra värmesystem. [4]

Malmström [3] skriver att det i radiatorsystemet inte i någon del skall förekomma tryck under atmosfärstryck, dels på grund av att kokpunkten då sänks under 100°C, dels på grund av risk för luftinsugning. Då pumpen placeras i framledningen höjs trycket i radiatorerna, medan om pumpen placeras i returledningen kommer trycket där bli lägre. Om pumpen placeras i returledningen bör höjden för det öppna expansionskärllet väljas så att avståndet mellan översta radiatören och botten på expansionskärllet minst motsvarar 70 % av pumptrycket, se figur 2-1.



Figur 2-1: Trycknivåer i expansionskärl vid olika placeringar av cirkulationspump. (modifierad från [3])

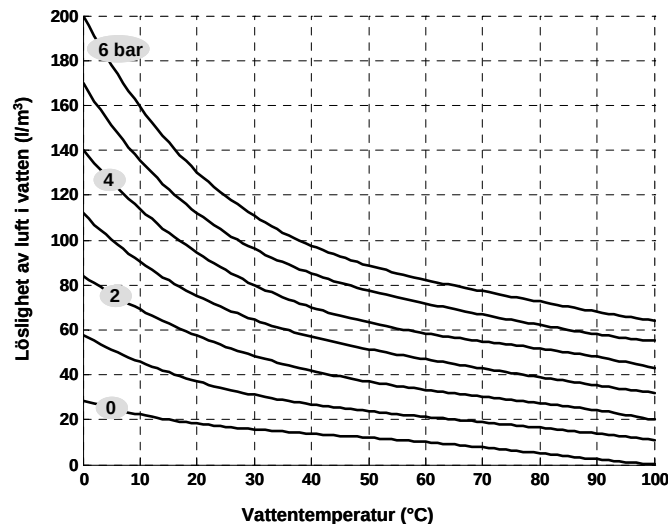
Exemplen med öppna expansionskärl borde vara direkt överförbara till slutna expansionskärl, då vattenpelartrycket vid det öppna expansionskärlet motsvarar trycknivån i det slutna. Observera expansionskärlet i förhållande till cirkulationspumpen i figur 2-1.

Warfinge [5] menar att då det gäller slutna expansionskärl inte finns några specifika krav på placeringen då trycket i kärlet bestäms av gastrycket, men att den vanligaste placeringen är i värmecentralrummet.

I kurslitteratur för installationsteknik finns flera illustrationer över radiatorsystem, både med och utan fjärrvärmeanslutning. Det förekommer dock ingen enhetlig bild av pumpens placering inom denna litteratur, ej heller i samma lärobok. Analys kring placering av pumpen saknas, förutom exemplet i figur 2-1 med värmepanna och öppet expansionskärl. [3],[5] och [6]

2.2 LUFTPROBLEM

Den vanligaste störningen orsakad av luft är minskad cirkulation, vilket kan innebära att vissa radiatorer blir kalla eller får minskad effekt. Eftersom vattnets förmåga att lösa luft varierar med tryck och temperatur enligt figur 2-2 är det främst i radiatorer placerade där luftens löslighet i vatten är liten som luften faller ut, det vill säga i högt belägna punkter med lågt statiskt tryck. Även susande ljud anges som vanligt luftproblem. [4], [5] och [8]



Figur 2-2: Lösighet av luft i vatten (modifierad efter [7])

Luft i radiatorsystemet innebär förutom cirkulationsstörningar en ökad risk för korrosion. Andra ställen där luftutfällning kan förekomma är vid tryckfall över ventiler, och främst i ventiler där temperaturen är hög och/eller trycket är lågt. Utfälld luft kan orsaka oljud i ventiler och rörledningar samt kavitation. [3]

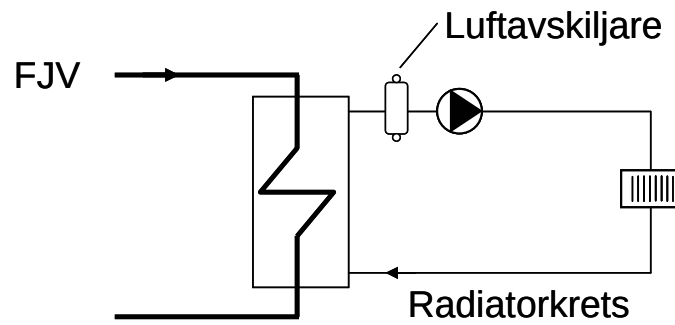
2.3 PÅFYLLNAD OCH AVLUFNING

För att anläggningen lätt skall kunna avluftas utförs anläggningen så [3]:

- Fram- och returledning har stigning >1:50 i källare (något som numera är ovanligt)
- Avluftningsventiler placeras på radiatorer och i högpunkter
- I fall där högpunktsavluftning ej är möjlig skall minimihastighet upprätthållas för att eventuella luftbubblor skall följa med flödet och ej samlas
- Även speciella avluftningsanordningar i anslutning till värmecentralen kan förekomma

VVS-installatörerna anger i sin teknikhandbok att de lösta gaserna som finns i radiatorvattnet vid påfyllnad skall frigöras. Detta sker genom att systemet värms upp till högsta tillåtna drifttemperatur. Gasen frigörs då som bubblor som kan avledas. Systemet bör utformas med få högpunkter och avluftningsanordningar placerade där luft kan samlas. Det poängteras att då det förekommer höga vattenhastigheter kan rörförstoring vara nödvändig för att luften skall kunna samlas. I anläggningar med mikrobubbelavskiljare skall dessa placeras där

temperaturen är som högst och trycket som lägst, det vill säga på framledningen till radiatorerna och på sugsidan av pumpen, se figur 2-3. Vid större anläggningar där systemet är högre än 15 till 20 m fungerar denna typ av luftavskiljare inte. I dessa anläggningar ansluts istället en undertrycksavgasare. [4]



Figur 2-3: Anslutning av mikrobubbelavskiljare [4]

3 INTERVJUER MED BRANSCHAKTIVA AKTÖRER

3.1 VVS-KONSULTER

Intervjuer via telefon har gjorts med 14 VVS-konsulter, från Malmö i söder till Lycksele i norr.

De intervjuade konsulternas namn och deras svar finns sammanställda i Bilaga 1. VVS-konsulterna svarade på frågor kring val av värmeväxlare, placering av cirkulationspump, avluftning, påfyllnad av radiatorsystemet samt skillnader mellan olika temperaturnivåer i olika system med avseende på avluftning.

3.1.1 Värmeväxlare

Värmeväxlaren ses som en komponent i systemet precis som vilken annan komponent som helst med ett visst tryckfall. Då anläggningens radiatorsystem är dimensionerade och flöde, effektbehov och temperaturnivåer är bestämda kontaktas tillverkare av värmeväxlare eller fjärrvärmecentraler. Den värmeväxlaren som bäst motsvarar anläggningens krav väljs.

Två konsulter nämner nivåer på tänkbara tryckfall på sekundärsidan i värmeväxlaren till 5-10 kPa respektive max 10 kPa. En konsult påpekar att tryckfallet i värmeväxlaren påverkar värmeöverföringen medan en annan säger att ett större tryckfall innebär en större cirkulationspump.

En konsult säger att fjärrvärmebolagens krav på tryckfall på primärsidan ställer krav på valet av värmeväxlare samtidigt som tryckfallet på sekundärsidan önskas hållas lågt.

Tre av konsulterna säger att priset påverkar valet av VVX.

En av konsulterna säger att hänsyn tas till försmutsningsrisk vid val av värmeväxlare. Detta uppnås i och för sig automatiskt genom att man följer Svensk Fjärrvärmes dimensioneringsförfarande.

3.1.2 Cirkulationspump

Frågorna som ställdes angående cirkulationspumpen kretsade kring var i anläggningen cirkulationspumpen placeras, samt varför den placeras just där.

Cirkulationspumpen väljs med avseende på flöde och det totala tryckfallet i anläggningen.

Utav de VVS-konsulter som intervjuats var det vanligaste svaret att cirkulationspumpen placeras i framledningen till radiatorerna (9 av de 14 konsulter). 4 konsulter angav returledningen som den vanligaste placeringen.

Som argument för att placera pumpen i framledningen angavs att god kontroll på de statiska trycken i anläggningen erhålls. De som uttalade sig om placeringen av expansionskärlet ville placera det på pumpens sug sida, antingen precis innan pumpen eller innan värmeväxlaren i de fall då cirkulationspumpen placeras på framledningen till radiatorerna.

Argumenten för att placera pumpen på returen från radiatorerna var främst den lägre temperaturen, något som flera konsulter samtidigt hävdar inte spelar någon större roll med dagens lägre systemtemperaturer, bättre packningsmaterial och våtlöpande pumpar. En av konsulterna som helst önskade placera pumpen på returen från radiatorerna angav som argument att få upp trycket i värmeväxlaren samt att denna placering minskar risken för oljud i systemet. Denna konsult angav även att expansionskärlet önskas placeras på pumpens trycksida, men att det då är viktigt att ha kontroll på det statiska trycket.

En konsult angav att de båda placeringarna är ungefär lika vanliga, och att pumpens placering beror på den övriga anläggningens utformning samt om mikrobubbelavskiljare skall installeras.

Flera konsulter angav att den vanligaste typen av pump som installeras i större anläggningar är tryckstyrda pumpar.

3.1.3 Påfyllnad av radiatorsystemet

Påfyllnad av radiatorsystemet sker vanligast med tappvarmvatten. Tre konsulter angav att radiatorsystemet fylls med tappkallvatten. En av dessa konsulter angav som skäl att det vid nyinstallation av fjärrvärmecentralen inte finns något tappvarmvatten tillgängligt för påfyllnad av radiatorsystemet.

Sex konsulter anger att systemet fylls, eller att det förekommer att det fylls, med avgasat vatten. En konsult anger att systemet skall fyllas med avgasat vatten. Det avgasade vattnet som anläggningen fylls med är antingen vatten från fjärrvärmenätet, avkokat eller avgasat vatten som kan vara inköpt från värmeleverantören. Att använda vatten från fjärrvärmenätet anses vara bra, men flera fjärrvärmebolag inte är intresserade av denna lösning.

3.1.4 Avluftning

Då det gäller avluftning finns det främst två typer av avluftare, dels att på traditionellt vis samla luft i höjdpunkter såsom överst i schakt, radiatorer mm, dels kontinuerliga avluftare såsom mikrobubbelavskiljare och lokalt trycksänkande anordningar.

Samtliga konsulter utom en uppger att avluftning ska ske på samtliga höjdpunkter, antingen genom automatiska/manuella avluftare eller på radiatorerna i de fall då dessa är de högsta punkterna. En konsult påpekar att det även skall utföras avluftningsmöjlighet vid lokala höjdpunkter som inte finns med på ritningen, utan som uppstår vid rördragning kring exempelvis ventilationskanaler.

En vanlig åsikt då det gäller automatiska avluftare är att de är förknippade med läckagerisk, och därför placeras dessa alltid synligt eller till och med undviks. En konsult framhåller att försmutsning i form av stänk vid automatiska avluftare måste beaktas vid placeringen.

En konsult säger att det ibland förekommer slarv med rördimension till avluftningsanordningar (för klenta rördimensioner används). En annan menar att det förr var vanligt att grövre rördimensioner används till avluftningsanordningar, något som inte är lika vanligt förekommande idag.

Då det gäller utskiljning av den luft som är löst i vatten används så kallade mikrobubbelavskiljare. Samtliga konsulter utom en säger att mikrobubbelavskiljare

förekommer, dock i något olika utsträckning. Funktionen av dessa avskiljare anses vara god. I större anläggningar förekommer istället för en mikrobubbelavskiljare en lokalt trycksänkande anläggning som arbetar cykliskt. Anläggningen fungerar så att ett delflöde i radiatorsystemet leds till en behållare där trycket sänks och den lösta luften frigörs och släpps ut. Det avluftade vattnet släpps tillbaka till radiatorkretsen och nytt vatten fylls på i behållaren.

Rekommenderad placering av mikrobubbelavskiljaren skiljer sig något mellan de olika konsulterna, men den vanligaste placeringen är på framledningen till radiatorkretsen.

En konsult påpekar att det förekommer anläggningar med fjärrvärmecentral placerad högre upp i anläggningen än på lägsta plan, och att detta är en fördel ur avluftsaspekt.

Ingen skillnad görs vid olika temperaturnivåer i radiatorsystemet (hög-/lågtemperatursystem) då det gäller avluftsaspekter. Två konsulter säger att system med lägre temperatur är svårare att avlufta men att kontinuerlig luftavskiljning med mikrobubbelavskiljare gör systemen problemfria. En konsult säger att en tillfällig höjning av temperaturen i systemet till 95°C vid avluftning tar bort luften en gång för alla.

En annan konsult påpekar problematiken vid konvertering av högttemperatursystem med panna till fjärrvärme och lägre systemtemperaturer. I dessa anläggningar är det svårare att få bort luften vilket innebär att system kan vara svåra att justera.

3.2 TILLVERKARE AV FJÄRRVÄRMECENTRALER

Sex tillverkare av fjärrvärmecentraler har kontaktats och besvarat frågor kring placering av cirkulationspump, påfyllnad av radiatorsystem och avluftning, för mera utförliga svar se bilaga 2.

3.2.1 Placering av cirkulationspump

Tre av tillverkarna angav att de placerar cirkulationspumpen i returledningen från radiatorerna, två att de som regel placerar den i framledningen till radiatorerna. En tillverkare angav att placeringen beror på storleken av fjärrvärmecentralen, där pumpen placeras i framledningen på de minsta anläggningar och i returledningen på de större anläggningarna.

Det skäl till placeringen av cirkulationspumpen (oavsett om den placeras i fram- eller returledningen) som fyra av de fem tillverkarna anger är att placeringen avgörs av produktionstekniska skäl, att pumpen passar bäst in i centralen just där. Tillverkaren som placerar cirkulationspumpen i returledningen på de större anläggningarna menar att då anläggningen är stor blir även pumpen stor, vilket innebär att den är tung. För att få så låg tyngdpunkt som möjligt på fjärrvärmecentralen placeras pumpen lågt, där inloppet till värmeväxlaren befinner sig.

De tillverkare som inte nämner produktionstekniska skäl som avgörande av pumpens placering anger att pumpen placeras i returledningen på grund av att temperaturnivåerna är lägre där, samt för att undvika stora tryckfall på pumpens sug sida. En av dessa tillverkare anger att pumpen även bör placeras före smutsfiltret då detta kan ge upphov till stora tryckfall vid ansamling av smuts. Risken för kavitation i pumpen kan därmed öka om filtret placeras mellan expansionskärlet och pumpen. Samma tillverkare poängterar att högre temperaturnivå kan påverka pumpens livslängd, samt att lägre temperatur minskar även

risken för kavitation och att elektroniken till moderna pumpars reglering mår bättre vid lägre temperatur.

Fyra av tillverkarna anger att expansionskärlet placeras av sugsidan på pumpen. En av tillverkarna angav detta som den viktigaste faktorn för placeringen av cirkulationspumpen. En tillverkare placerar expansionskärlet i mindre vägghängda anläggningarna på sugsidan av pumpen, men i större anläggningarna placeras expansionskärlet på returen från radiatorkretsen och pumpen i framledningen till radiatorerna.

Tre av tillverkarna säger att pumpen placeras vertikalt, och att detta görs för att inte få luftsamling i pumpen. En av tillverkarna ansåg att detta var den viktigaste faktorn för pumpens placering.

Tre av tillverkarna anger att pumpplaceringen kan vara olika på grund av kundens önskemål eller befintlig värmeanläggning.

3.2.2 Påfyllnad

Fem tillverkare angav att radiatorsystemet fylls på med varmvatten, men att det kan förekomma att kunden fyller på med avgasat vatten. En angav att det vore önskvärt att fylla systemet med avgasat vatten, antingen fjärrvärmevatten, eller vatten avgasat med undertrycksanläggning. Denna tillverkare önskar en lösning med påfyllnad med fjärrvärmevatten, då detta borde gå att lösa på ett relativt billigt och bra sätt, medan installationen med återströmningsskydd till tappvarmvatten är en dyr och inte särskilt bra lösning.

3.2.3 Avluftning

Tre av tillverkarna anger att mikrobubbelavskiljare förekommer i större anläggningar. En tillverkare uppger att avskiljaren placeras på framledningen och på pumpens sug sida, en annan att placeringen sker enligt anvisningar från tillverkaren av avskiljarens. Den tredje tillverkaren som normalt har pumpen i returledningen placerar avskiljaren på pumpens sug sida, men kan flytta pumpen till framledningen om kunden så önskar med hänvisning till att avskiljaren får något försämrade kapacitet vid lägre temperaturer. Vid placering av luftavskiljarens anser denna tillverkare att lågt statiskt tryck är av större vikt än hög temperatur för luftavskiljarens funktion.

Mikrobubbelavskiljare anses fungera bra, och att de gör stor nytta, främst och nästan uteslutande den närmsta tiden efter påfyllnad av värmesystemet.

Två tillverkare av fjärrvärmecentraler poängterar vikten av att få bort all luft med avseende på injustering av värmesystemet. Med luft i systemet kan tryckpendling/gungningar i systemet uppkomma.

Den tillverkare som inte använder sig av mikrobubbelavskiljare konstruerar fjärrvärmecentraler för upp till 25 lägenheter.

3.2.4 Luftproblem

Problem med luft i systemet är främst injusteringssvårigheter. En tillverkare av fjärrvärmecentraler anger att kavitation har upptäckts, men då har felet kunnat härledas till felaktigheter på pumpen.

3.2.5 Övriga synpunkter

En tillverkare uppger att det finns önskemål från några uppdragsgivare i Stockholm att installera ledningar till ett kemikaliefilter för behandling av radiatorvattnet.

Att det husinterna systemet vid konvertering inte alltid fungerar smärtfritt påpekar en tillverkare av fjärrvärmecentraler. Det påpekas då att äldre system med pannor och shuntgrupper ställer till problem och att det finns ett behov av anvisningar för att vid fjärrvärmeanslutning få de husinterna systemen att fungera väl.

3.3 RADIATORTILLVERKARE

Fem tillverkare av radiatorer har kontaktats och via telefon och svarat på frågor om syrehalter, avluftning och luftproblem, för mera utförliga svar se bilaga 3.

3.3.1 Syrehalter och avluftning

Samtliga tillverkare anger att det inte finns några krav på nivåer för maximal syrehalt i radiatorvattnet. Två tillverkare tillägger att det inte skall förekomma någon luft i radiatorsystemet. Sedan systemet fylls på och luftas av får inte syre kontinuerligt läcka in. En tillverkare säger att den luft som finns kvar efter påfyllnad och avluftning kommer så småningom att bli ”dött vatten” och därmed inte kan åstadkomma några problem. En annan tillverkare rekommenderar att temperaturen höjs i systemet vid avluftning, och att efterkommande avluftning bör ske.

Alla tillverkare är ense om att luften skall ut ur systemet för att få ett väl fungerande värmesystem.

System med golvvärmeslingor anses av en radiatortillverkare vara särskilt svåra att avlufta.

3.3.2 Luftproblem

Luftrelaterade korrosionsproblem är sällsynta uppger samtliga tillverkare. De luftproblem som uppstår är främst ljud i form av susningar och försämrade cirkulation uppger en tillverkare.

Om luft kontinuerligt tillförs uppstår korrosionsproblem mycket snabbt. Tre radiatortillverkare nämner som exempel att då ej diffusionstäta PEX-rör/golvvärmeslang användes blev rostangreppen på radiatorerna mycket omfattande på kort tid.

Då en radiator korroderat så läckage uppstår byts endast den felande radiatören utan att felkällan undersöks, om inte felet är ofta förekommande i anläggningen.

Samtliga tillverkare säger sig inte ha observerat något samband mellan övergång till lågtemperaturssystem och ökande frekvens av korrosionsskador. Dock tillägger en tillverkare

att dessa system ställer högre krav på att avluftningen sker korrekt samt att den tar längre tid. En tillverkare säger att detta samband vore intressant att studera.

3.4 TILLVERKARE AV CIRKULATIONSUMPAPAR OCH LUFTAVSKILJARE

Två tillverkare av cirkulationspumpar och två företag som marknadsför och levererar bland annat avluftningsprodukter har kontaktats angående deras komponenters placering och funktion, se bilaga 4. Även företagens produktinformation och handbok med avseende på avluftningsanordningar har undersökts.

3.4.1 Pumpens placering

Båda pumpstillverkarna anger att temperaturen inte är den viktigaste faktorn vid placering av cirkulationspumpen, utan det statiska trycket vid pumpens placering är viktigt. Den ena kontakten framhöll vikten av att placera expansionskärlet på pumpens sug sida för att det lägsta statiska tryck skall vara så högt som möjligt. Båda pumpstillverkare säger att vertikal montering av pumpen är bäst, då det ej kan samlas luft vid denna montering.

Den ena tillverkaren rekommenderar pumpplacering på framledningen, och den andra på returledningen. Som argument för placering på returledningen anges att risken för kavitation är mindre där, med tillägg att våtlöpande pumpar är mera kavitationskänsliga.

En pumpstillverkarna angav att pumpen bör placeras så lågt i systemet som möjligt, dock ej allra längst ner på grund av försmutsningsrisk.

3.4.2 Luftavskiljare

En pumpstillverkare angav att mikrobubbelavskiljare är av godo då den minskar mängden av den lösta luften i vattnet, som kan fällas ut lokalt i pumpen där undertryck skapas och därmed ställa till skada. Dessa bubblor finns dock endast lokalt och återlöses sedan i vattnet då trycket stiger i flödet. Inget system är fullständigt diffusionstätt och därför kommer luft att tillföras, något som en luftavskiljare kan ta bort.

Båda företagen som säljer avluftare har två typer av luftavskiljare för kontinuerlig avluftning av värmesystem. Den ena är en avskiljningsanordning (här kallad mikrobubbelavskiljare) där vattnet strömmar igenom en absorptionsdel med ett ytförstorande material. Flödet genom absorptionsdelen skall vara lågt för att luften och mikrobubblorna skall fastna och stiga för att sedan frigöras via en automatisk luftningsventil. Mikrobubbelavskiljare är tillräckligt för lägre hus, men för högre byggnader där statiska trycket är högt räcker denna typ av avskiljare inte till, utan en vakuumavluftare bör installeras. Vakuumavluftaren fungerar som så att ett delflöde avleds från huvudflödet till en behållare där trycket tillfälligt sänks och på så sätt frigörs luften som därefter släpps ut via en avluftare. Det avluftade vattnet återförs sedan till huvudflödet och behållaren fylls åter med vatten för avluftning.

Båda återförsäljarna anger att den rekommenderande placeringen av mikrobubbelavskiljaren är i anslutning till värmeväxlaren (på den varma sidan) samt på sugsidan av pumpen. Då denna placering ej är möjlig för att pumpen är placerad i returledningen uppger en återförsäljare att avskiljaren skall placeras på framledningen till radiatorsystemet, då hög temperatur anses viktigare än det lägre trycket i ett radiatorsystem (där tryckhöjningen inte anses särskilt stor).

En av återförsäljarna anger att den bästa placeringen även kan vara på trycksidan av pumpen då det i pumpen skapas undertryck och luftbubblor faller ut, och finns kvar i flödet strax efter pumpen. Det poängteras vid denna placering att det är av yttersta vikt att mikrobubbelavskiljaren skall placeras så nära pumpen som möjligt.

3.5 ÖVRIGA KONTAKTER

Då det gäller praktiska kontakter har två installationsföretag kontaktats samt en servicetekniker på ett energibolag. Även en person på SABO (Sveriges allmännyttiga bostadsföretag) som är en intresseorganisation har kontaktats. För utförligare svar se bilaga 5. De har besvarat frågor kring pumpens placering, expansionskärl, avluftning och luftproblematik.

3.5.1 Placering av cirkulationspump och expansionskärl

Två av de tillfrågade svarar att pumpen brukar placeras på returledningen från radiatorsystemet. Som anledning till denna placering nämns temperaturaspekter respektive att pumptillverkare rekommenderar denna placering.

Två av de tillfrågade ansåg att pumpen skall placeras i framledningen till radiatorsystemet. Som argument för detta anges att pumpen är konstruerad för att trycka in vatten i radiatorerna, samt att annan placering ökar risken för insugning av luft som oftast sker via avluftare.

Då det gäller placeringen av expansionskärlet skiljer sig åsikterna. En anser att slutna expansionskärl ej skall anslutas till pumpens sug sida då det förekommer avluftningsanordning på expansionskärlet och att det då kan finnas risk för insugning av luft i systemet. En annan anser att expansionskärlet skall anslutas till pumpens sug sida för att övertryck skall erhållas i hela systemet.

3.5.2 Avluftning

De två installatörerna säger att avluftare installeras på högpunkter, samt att det även förekommer att mikrobubbelavskiljare installeras. En installatör säger att automatiska avluftare på höjdpunkter undviks på grund av läckagerisk.

En av installatörerna säger att vid avluftning höjs temperaturen för att så mycket luft som möjligt skall frigöras. I lågtemperatursystem kan temperaturen oftast tillfälligtvis höjas (med el-patron för värmepumpanläggningar) då radiatorlasten är låg. Denna installatör och kontakten på SABO säger även att vid avluftning av större anläggningar kan en undertrycksavluftare installeras, antingen permanent eller tillfälligt. Undertrycksavgasaren anges vara mycket effektiv.

3.5.3 Luftproblematik

En av installatörerna och serviceteknikern anser att de främsta problemen som uppstår på grund av luft i systemet är dålig cirkulation och därmed dålig värme på radiatorerna. En installatör säger att luftproblem var vanligare förr då ej diffusionstäta plaströr användes. En annan installatör menar att luftproblemen är sällsynta i förhållande till antalet radiatorer som finns i drift, men tillägger att golvvärmeanläggningar kan vara svårare att avlufta då plaströren ej alltid ligger slätt.

Serviceteknikern får rycka ut till kunder med serviceavtal (främst villakunder) och lufta radiatorer och fylla på vatten i anläggningen. Han säger att kunden som äger anläggningen ofta tror att den skall sköta sig själv, och därför försummar avluftning av systemet.

3.6 NORDISKA ERFARENHETER

De utländska kontakterna baseras på samtal med de närmsta nordiska grannländers respektive fjärrvärmeförening (Danmarks, Finlands och Norges), eller på person rekommenderad av fjärrvärmeföreningen, samt kontakt med en fjärrvärmeleverantör i respektive land. För utförligare svar se bilaga 6.

3.6.1 Danmark

I Danmark förekommer både radiatorsystem som är direkt anslutna till fjärrvärmenätet och anläggningar som är indirekt anslutna via en värmeväxlare. Uppskattningsvis är det ungefär hälften av anläggningarna som är anslutna till fjärrvärmenätet via en värmeväxlare. Påfyllnad av radiatorsystemet vid indirekt anslutning sker vanligtvis med kallvatten, men det finns även exempel på indirekt anslutna anläggningar som fylls med fjärrvärmevatten.

Vid indirekt anslutning är principen att pumpen placeras på framledningen till radiatorsystemet och att expansionskärlet placeras vid pumpens sug sida säger fjärrvärmeföreningen. Fjärrvärmeleverantören säger att pumpplaceringen varierar, men att den vanligaste placeringen är på den kalla sidan av värmeväxlaren.

3.6.2 Finland

Fjärrvärmeföreningen i Finland har rekommendationer då det gäller utformning av fjärrvärmecentraler, påfyllnad mm. I Finland är det husinterna systemet alltid skilt från vattnet i fjärrvärmenätet med värmeväxlare.

Rekommenderad pumpplacering är på retursidan från radiatorsystemet, och detta för att temperaturen där är låg. Expansionskärlet placeras på pumpens sug sida för att minska risken för att luft skall tränga in i systemet. Dock finns det prefabricerade fjärrvärmecentraler som inte följer dessa rekommendationer, men rekommendationerna anses annars vara representativa för hela Finland.

Påfyllnad av radiatorsystemet sker vanligtvis med tappvatten, antagligen främst kallvatten anser energimyndigheten, medan energiföretaget använder varmvatten.

3.6.3 Norge

I Norge ingår inte tekniska rekommendationer i fjärrvärmeföreningens arbetsområde, utan fjärrvärmeföreningen fokuserar på lobby- och policyarbete. Fjärrvärmeföreningen hänvisade därför vidare till en konsult som tidigare varit ledare för fjärrvärmeföreningen (1987-1996).

I Norge förekommer det endast indirekt anslutning av fjärrvärme. Mindre villaområden med en central värmeväxlare kan sedan anslutas direkt till det lokala nätet.

Placeringen av cirkulationspumpen uppges variera, den norska konsulten säger att den vanligen placeras i framledningen, energibolaget i returen. Expansionskärlet placeras på

pumpens sug sida för att minska risken för insugning av luft i systemet. Dock uppges det även att denna placering kan variera.

Påfyllnad av radiatorsystemet sker vanligtvis med tappvatten, vanligtvis kallvatten. Det förekommer anläggningar som fylls med fjärrvärmevatten vid nya anläggningar inom vissa fjärrvärmeområden.

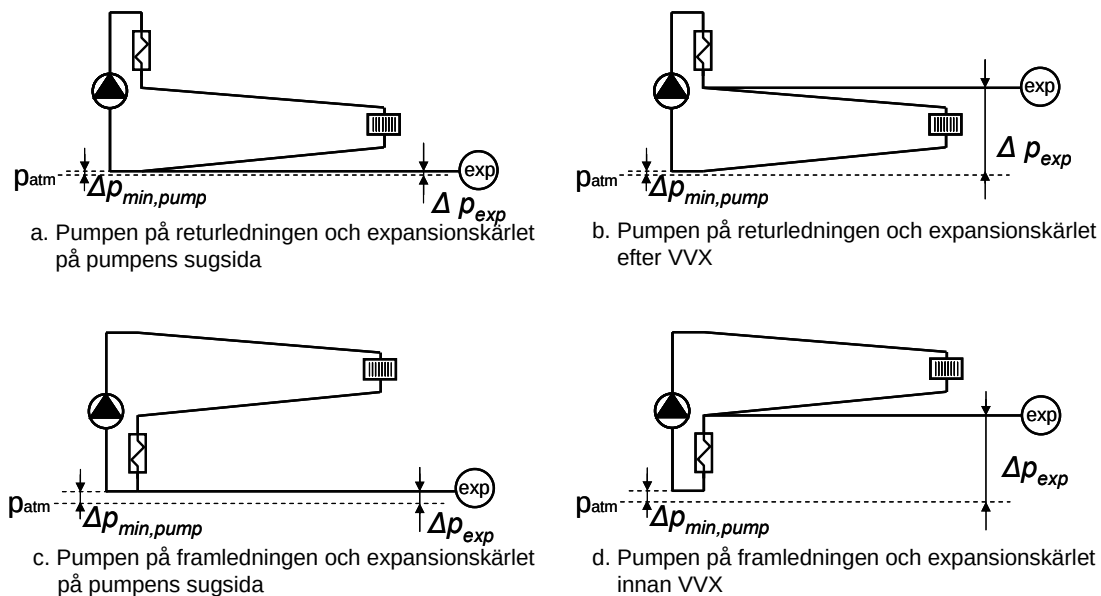
I Norge förekommer ofta shuntkopplingar i radiatorsystemen vid fjärrvärmeanslutning, något som skiljer sig från de svenska systemen.

4 DISKUSSION

Då det under arbetets gång framkommit flera olika åsikter, såväl samstämmiga som motsägelsefulla, finns det utrymme för diskussion. Detta avsnitt är ett resultat av författarnas diskussion med utgångspunkt från det insamlade materialet.

4.1 TRYCKHÅLLNING VID OLIKA PLACERINGAR AV CIRKULATIONSUMP OCH EXPANSIONSKÄRL

För att illustrera tryckförhållandet i ett radiatorsystem har fyra tänkbara placeringskombinationer av cirkulationspump och expansionskärl tagits fram i figur 4-1.



Figur 4-1: Tryckförhållande med olika placeringar av cirkulationspump och expansionskärl.

Var än pumpen placeras krävs ett visst övertryck i hela radiatorsystemet, och för att vara säker på att detta skall erhållas bör pumpen placeras direkt efter expansionskärlet, utan några mellanliggande komponenter som kan åstadkomma tryckfall (se figur 4-1.a och 4-1.c). Att som i figur 4-1.d placera pumpen i framledningen och expansionskärlet i returledningen, eller tvärt om som i figur 4-1.b, kräver högre förtryckt expansionskärl (högre Δp_{exp}) för att ta hänsyn till tryckfallet i värmeväxlaren. Erfarenhetsmässigt vet vi att tryckfallet i värmeväxlaren och/eller smutsfiltret kan öka på grund av försmutsning med tiden. Att placera komponenter så att de på ett okontrollerat sätt kan påverka det statiska trycket vid pumpens sug sida måste betraktas som olämpligt.

Att placera cirkulationspumpen i framledningen innebär att vattnet har en högre temperatur, vilket innebär att trycket vid pumpens sug sida ($\Delta p_{min,pump}$ i figur 4-1.c och figur 4-1.d)

behöver vara högre för att undvika kavitation. Som exempel kan data över krav på trycknivån vid olika temperaturer ges, här som ett utdrag ur produktblad för pumpar ur Grundfos serie 200, se tabell 4-1.

Tabell 4-1: Lägsta trycknivå på sugsidan av cirkulationspumpen. [9]

Pumptyp	Vätsketemperatur		
	75°C	90°C	120°C
UPS, UPSD	[bar]	[bar]	[bar]
32-30	0,05	0,05	1,3
32-120	0,4	0,7	1,95
80-60	1,2	1,5	2,75
100-30	1,05	1,35	2,6

Således kan systemtrycket hållas något lägre med pumpen placerad på returledningen från radiatorerna. Å andra sidan är detta inget att eftersträva då risken för inläckage av luft ökar vid låga systemtryck.

Vad gäller maximal medietemperatur anges den för Grundfos cirkulationspumpar i serie 200 till 120°C och maximal omgivningstemperatur till 40°C [9]. Då det gäller pumpar med elektronik för tryckhållning varierar rekommenderad vätsketemperatur med omgivningstemperaturen. Exempel på detta finns i tabell 4-2 som är ett utdrag ur datablad från pumpar i Grundfos Alpha serie.

Tabell 4-2: Omgivnings- och vätsketemperatur för Grundfos Alphapumpar. [10]

Omgivande temperatur [°C]	Vätsketemperatur	
	Min. [°C]	Max. [°C]
0	2	110
30	30	110
35	35	90
40	40	70
60*	60*	70*

*Vid dessa temperaturer kan pumpens livslängd minska.

Önskemål om låg omgivningstemperatur talar för en placering av cirkulationspumpen i returledningen, särskilt vid kompakta prefabricerade fjärrvärmecentraler med hölje. Det kan tyckas att omgivningstemperaturen aldrig blir kritisk, men en så låg omgivningstemperatur som möjligt borde höja livslängden för den elektroniska pumpstyrningen.

Sammantaget kan det konstateras att cirkulationspumpen bör placeras enligt figur 4-1.a eller figur 4-1.c. Placeringarna i figur 4-1.b och 4-1.d bör undvikas. Vid placering av pumpen bör kavitationsrisk, önskat systemtryck och pumpens rekommenderade arbetstemperaturområde beaktas.

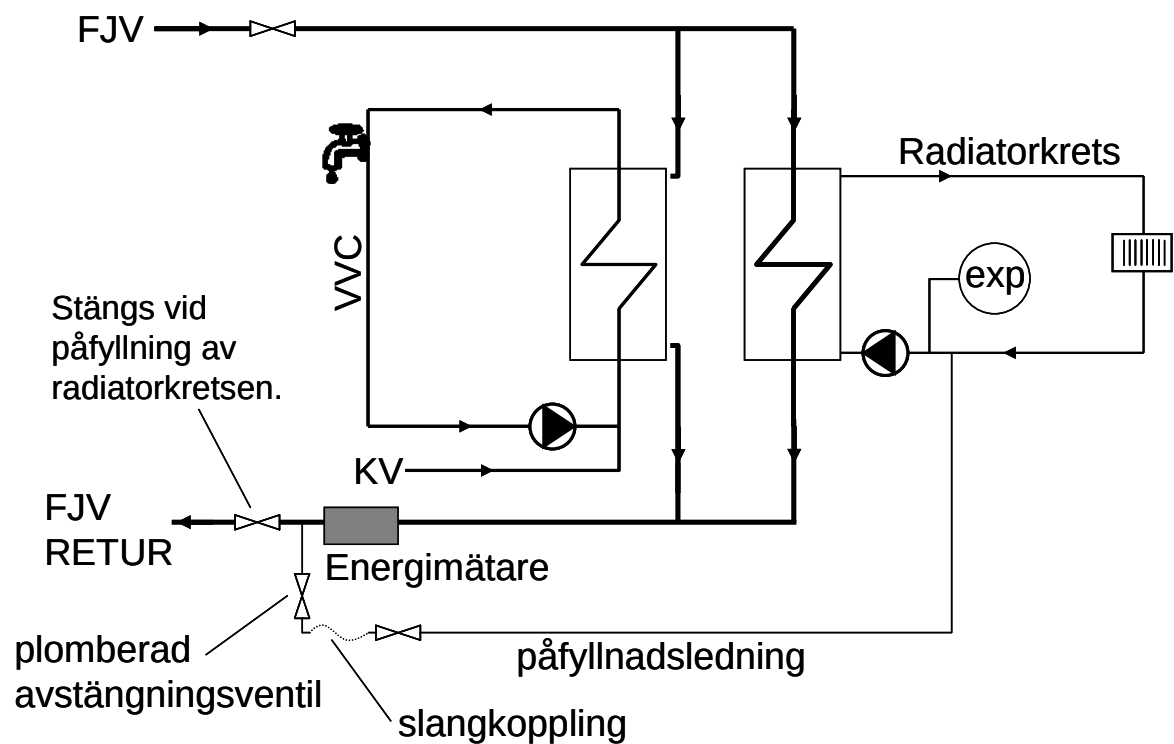
4.2 PÅFYLLNAD

Då det gäller påfyllnad av radiatorsystemet anses det allmänt att det är av intresse att få in så lite luft som möjligt i radiatorsystemet. Det vanligaste är idag att värmeanläggningen fylls med tappvarmvatten. Stor vikt i det fallet läggs vid återströmningsskydd som har till uppgift att hindra värmevattnet att återströmma till tappvattnet. Konstruktionskrav på återströmningsskyddet är för närvarande under utredning av Boverket, Svensk Fjärrvärme och branschrepresentanter.

Då det gäller påfyllnad av tappvatten bör det föreskrivas att tappvarmvatten skall användas då de gaser som finns i tappvatten till större del befinner sig i gasform då tappvattnet är varmt. Dessa gasbubblor kommer då att fastna i högpunkter i systemet vilket underlättar avluftningen vid påfyllnad av radiatorsystemet. Vid påfyllnad av kallvatten förekommer det att gaserna löser sig invid rörväggar och kan hänga fast vid rörväggen betydligt längre vilket försvårar avluftningen.

I större anläggningar borde påfyllnad av radiatorsystemet med avgasat vatten vara möjligt. Avgasat vatten kan till exempel erhållas med undertrycksavgasare eller så kan vatten från fjärrvärmenätet användas. Vid sammankoppling med fjärrvärmenätet får påfyllnadskapaciteten ej överskrida säkerhetsventilens kapacitet på sekundärsidan då trycket på primärsidan är betydligt högre än sekundärsidans tillåtna tryck. Påfyllnad med fjärrvärmevatten förutsätter givetvis att fjärrvärmeleverantören är intresserad av detta, samt att enkel debitering av den påfyllda vattenvolymen kan göras. Som debiteringsunderlag vid påfyllnad kan fjärrvärmecentralens energimätare användas för att mäta påfylld vattenvolym, se föreslagen kopplingsprincip i figur 4-2. Det är även tänkbart att en engångssumma beroende på anläggningens storlek tas ut vid påfyllnad av radiatorsystem.

Sannolikt vill man att påfyllnad med fjärrvärmevatten sker under kontrollerade former, och utförs då av en servicetekniker, som efter påfyllnad plomberar påfyllnadsventilen och demonterar slangkopplingen för påfyllnad med vatten från fjärrvärmenätet. Genom den avbrutna påfyllnadsledningen kan mindre påfyllnader utföras genom slangkoppling till tappvarmvatten i samband med mindre reparationsarbeten eller renoveringar då kostnaden för serviceteknikern anses vara för stor.



Figur 4-2: Principiellt kopplingsschema för fjärrvärmecentral med påfyllnad av radiatorcirkeln med fjärrvärmevatten.

5 SLUTSATSER

Då det gäller pumpens placering råder ingen entydighet inom VVS-branschen. Många argument kring vart cirkulationspumpen skall placeras är erfarenhetsmässiga. För att den optimala pumpplaceringen skall bestämmas måste därför noggranna studier göras, för att peka på fördelarna med en viss placering och för att få acceptans inom branschen. Det kan sägas att då det gäller cirkulationspumpens placering är den viktigaste faktorn att säkerställa ett tillräckligt högt tryck på pumpens sug sida, samtidigt som trycket i hela anläggningen måste vara större än atmosfärstrycket. Minskad risk för kavitation talar för en placering av cirkulationspumpen i returledningen i kombination med ett expansionskärl på pumpens sug sida. Med denna placering minskar även värmning av den elektronik som reglerar pumparbetet vid tryckstyrda pumpar.

Vid placering av cirkulationspumpen i framledningen borde även expansionskärlet placeras där, och då på pumpens sug sida. Pumpleverantörens krav på stationärt tryck på sugsidans beroende på drifttemperaturen måste beaktas.

Man skall undvika att placera komponenter som ger upphov till tryckfall (gäller även smutsfilter) mellan expansionskärlet och pumpens sug sida.

Avluftning av radiatorsystem är inget direkt problem och luftrelaterade problem anses sällsynta. Detta trots att systemtemperaturer har sänkts utan att någon direkt skillnad på dimensioneringstänkandet av radiatorsystem har gjorts, förutom ökad användning av kontinuerliga avluftare i form av mikrobubbelavskiljare eller trycksänkande anordningar. Det är ett faktum att anläggningar med lägre systemtemperatur och golvvärme är svårare att tömma på luft, något som talar för användning av kontinuerlig luftavskiljning. Anledningen är bland annat vattnets ökande förmåga att lösa luft vid lägre temperaturer.

Då det gäller påfyllnad av radiatorsystemet är tappvatten, och då främst tappvarmvatten det medium som använts. Det finns ett intresse kring påfyllnad med avgasat vatten, där fjärrvärmevatten ses som en möjlighet. Det är fullt möjligt att fylla radiatorsystem med fjärrvärmevatten, och det till och med förekommer inom vissa fjärrvärmeområden. Då fjärrvärmevatten ej kan användas till påfyllnad av radiatorsystemet skall tappvarmvatten användas.

6 REFERENSFÖRTECKNING

- [1] FJÄRRVÄRMECENTRALEN UTFÖRANDE OCH INSTALLATION, Tekniska bestämmelser | F:101 | oktober 2004, ISSN 1401-9264, © 2004 Svensk Fjärrvärme AB, Art nr 041120
- [2] Fjärrvärmecentralen, kopplingsprinciper, rapport 2004:3
- [3] Installationstekniska grunder, Introduktion samordning med byggnaden värme ventilation, KTH, 2002, Tor-Göran Malmström
- [4] Teknikhandboken, VVS-Installatörernas teknikhandbok 2005, 2004, ISBN 91-631-6366-7
- [5] Installationsteknik AK för A, Catarina Warfinge, LTH, 1997, Rapport TABK--97/7031
- [6] Installationsteknik, Grundkurs A, Del 1, VVS-tekniska installationer, Chalmers, Kompendium K34:1983
- [7] VVS Teknik & installation, Oktober 2004
- [8] Total injustering, Robert Petitjean, 1995, ISBN 91-630-2630-9
- [9] PDF - UPS, UPSD Serie 200 – datahäfte, V7 12 82 21 02 98 28/2-05
- [10] PDF – Grundfos Alpha+ Cirkulationspumpar, V7 16 46 94 xx 03, 2/3-0

Företag: B&B VVs konsult

Kontaktperson: Tommy Bengtsson 14/12-04

Tryckfall i radiatorväxlaren:

Genom tryckfallet i radiatorkretsens samtliga delar (inkl VVX) dimensioneras pumpen. Får uppgifter från VVX-tillverkaren.

Placering av cirkulationspump

95-100 % av fallen placeras pumpen i framledningen till radiatorkretsen (på den varma sidan). Praxis. Vid värmeåtervinningsbatterier placeras pumpen på den varma sidan för att minska risk för kondens på pumpen.

Påfyllning

Tappvarmvatten. Till vissa anläggningar (på uppdragsgivarens begäran eller vid stora anläggningar) fylls systemet med avluftat vatten. Idag föreskrivs dock påfyllnad av avgasat vatten.

Avluftning

Permanent (automatiska) avgasare förekommer på större system. Vid projektering finns avluftare (luftklockor) på samtliga höga punkter. Rekommendationer då det gäller dimensioneringen av dessa luftklockor följs dock inte alltid. För små rördimensioner förekommer och då har luften svårare att leta sig dit. Rördimensionen skall vara samma som radiatorkretsen, dock max 2". Konstruktionen av avluftare skiljer sig ofta. Vid påfyllnad avluftas systemet flera gånger (manuellt vid luftklockorna) sedan finns inga klara instruktioner förutom vid ingrepp i installationen då avluftning skall ske. Samtliga radiatorer avluftas på traditionellt vis.

B&B sysslar även med besiktning av värme system. Tommy sade att det förekom "fusk" med avlufteringsklockorna med för små rördimensioner och att detta ofta är svårt att åtgärda då anläggningen redan är i drift vid besiktningstillfället. Istället hålls bevakning på aktuell anläggning under garantitiden...

Tommy är av den åsikten att automatiska avluftare fungerar bra i början, men efter lägre driftstid kan funktionen försämrats. De avluftare som tar bort mikrobubblor är bäst.

Bilaga 1. Samtal med VVS.konsulter

Företag: PERKON AB

Kontaktperson: Sune Persson 14/12-04

Tryckfall i radiatorväxlaren:

Tryckfallet påverkar värmeöverföringen.

Kostnad på VVX

Dimensionerar cirkulationspump

Placering av cirkulationspump

På retursidan. Något svar på varför erhöles ej.

Påfyllning

Avgasat vatten skall användas vid påfyllnad. Inga fasta installationer till påfyllnad av systemet finns med i beskrivningarna.

Avluftning

Luftklockor i samtliga högsta punkter samt i samtliga radiatorer (på traditionellt vis). Dimensionering av ledningar till avluftning finns, följer radiatorledningen upp till 50mm. Automatisk avluftning förekommer i vissa anläggningar, främst för att få bort mikrobubblor.

Hänsyn till olika temperaturnivåer i radiatorsystemet vid olika driftsförhållande (panna 90°C, 80-60°C, 60-40°C) tas ej. Dock tar det längre tid att få ut luft vid lägre temperaturer. Krävs fler omgångar av avluftning vid påfyllnad av systemet.

Företag: Bengt Dahlgren AB

Kontaktperson: Rhode Östling, 16/12-04

Tryckfall i radiatorväxlaren:

Effekt, temperatur och flöde styr de data som avgör val av VVX. Dessa data vidarebefordras till VVX-tillverkare (ofta CeTeTherm). Flera alternativ kan fås. Tryckfallet (VVX + systemet) avgör val av cirkulationspump.

Vid byte av VVX/konvertering av olika system och "rätt" tryckfall/effekt inte finns avgörs detta från fall till fall. VVX-tillverkare kontaktas för att berätta om vad som händer vid olika flöden och vilka tryckfall som fås.

Placering av cirkulationspump

Oftast på den varma sidan av VVX (på framledningen till radiatorerna). Detta i system så att vattnet cirkulerar genom pumpen, till radiatorerna, till avluftare (spiro-tub) för att sedan gå in i VVX igen. På detta sätt är vattnet avluftat i VVX och pumpen (de väsentliga/känsliga delarna).

Påfyllning

Oftast med VV. Fast installation med backventil.

Avluftning

Olika beroende på systemets omfattning. Små avluftare (manuella) kan förekomma på små lokala höjdpunkter (exempelvis vid rördragning kring ventilationskanaler då små höjdvariationer är nödvändiga).

Så gott som samtliga anläggningar är försedda med spiro-tub, som anses vara mycket effektiv. Efter vattnet cirkulerat ett par gånger anses det så gott som avluftat.

På vissa anläggningar sätts avluftare på höjdpunkter (vid ex. schakt) i systemet. Detta anses inte vara nödvändigt på alla anläggningar då spiro-tuben anses tillräcklig.

På större anläggningar (ex. 10000m²) sätts en stor avluftare med pump in.

Ingen skillnad ur luftningssynpunkt vid olika temperaturnivåer. Ofta görs systemen med 55/45°C.

Ingen skillnad på två eller trerörssystem. Ettrörssystem har inte dimensionerats på 10 år.

Företag: VCON VVS-konsult AB
Kontaktperson: Åke Höglund, 15/12-04

Tryckfall i radiatorväxlaren:

Olika beroende på vilket fjärrvärmenät som det gäller. Mölndal - brukaren står för växlaren.

Göteborg-levererar VVX.

När VVX föreskrivs hålls tryckfall nere till 20-25kPa (5-10 kPa på VVX).

Viktigt med auktoritet till ventiler, därför finns krav på rätt tryckfall i VVX. Låga tryckfall i rör (30pa/m).

Totala tryckfallet avgör pumpens dimension.

Placering av cirkulationspump

Brukar försöka placera den på den kalla sidan av VVX. Dock anses detta inte vara av så stor vikt vid ett 60/40°C system då 60°C inte anses särskilt varmt. Vid 80/60°C placeras pumpen alltid på den kalla sidan.

Påfyllning

Med VV. Fast installation med backventil.

Avluftning

Nästan alla anläggningar är utrustade med fast installerad automatisk avluftare (Spriovent).

Försöker använda så lite automatiska avluftare på högpunkter som möjligt. Manuella avluftare på samtliga högpunkter. Kan förekomma manuella luftklockor på andra ställen, då genom dimensionsförstoring och ventil.

Föreskrifter av installation av avluftare i samtliga högpunkter görs i en generell text (ritas ej ut på ritningen). Detta anses inte vara något problem, duktiga rörläggare.

Företag: IBA Ingenjörbyrå Bygginstallationer AB
Kontaktperson: Stefan Sälle, 15/12-04

Tryckfall i radiatorväxlaren:

Temperaturer och flöden (effekt) avgör val av VVX. Tryckfall som kan tänkas är max 10kPa. Totalt tryckfall dimensionerar cirkulationspump.

Placering av cirkulationspump

Olika placering i olika system. Spelar inte så stor roll i 60/40°C system. Vanligast på framledningen till radiatorerna. Kan även bero på mikrobubbelavskiljare.

Påfyllning

Beroende på anläggningens storlek. Små anläggningar KV, med fast installerad med backventil. Vid större anläggningar köps avluftat vatten in från värmeleverantör. Vissa anläggningar kan fyllas med FJV-vatten, dock ej i Göteborg.

Avluftning

Beroende av system.

Automatisk eller manuell avluftare på höga punkter. Innan avluftning värms systemet upp.

I vissa anläggningar finns möjlighet att sänka trycket.

Vanligt med automatiska avluftare sirovent och spirotop (vid högsta punkter).

Vid automatisk avluftning av högsta punkter är det viktigt att inget undertryck skapas. Om undertryck skapas kan avluftaren få motsatt verkan.

Bilaga 1. Samtal med VVS-konsulter

Företag: Metator VVS-konsult AB

Kontaktperson: Jan Erik Heikefelt, 21/12-04

Tryckfall i radiatorväxlaren:

Kriterier vid val av VVX: Pris, utrymme (rör eller platt, mest platt, dock risk för igensättning), tryckfall (krav från fjärrvärmebolag samt lågt tryckfall på radiatorsidan)

Varvtalstyrda pumpar i så gott som samtliga fall. På så sätt kan driften optimeras då de beräknade tryckfallen inte är exakta.

Placering av cirkulationspump

På returledningen eftersom temperaturen där är lägst. Pumpen får längre livslängd.

Påfyllning

I stora anläggningar med kokat vatten (installerad elpanna). Annars KV (något VV finns ju inte då anläggningen ej tagits i drift). Temperaturen höjs och avluftas på högpunkter manuellt eller med automatiska ventiler (OBS! Automatiska ventiler måste vara inspekterbara, annars fungerar de bra). Avluftning på samtliga stammar.

Avluftning

Automatisk kontinuerlig avluftning med spirovent på den varma sidan av VVX.

Bilaga 1. Samtal med VVS.konsulter

Företag: IKA installationstekniska konsultbyrå

Kontaktperson: Börje Permats, 20/12-04

Tryckfall i radiatorväxlaren:

Oftast väljs VVX av byggherren, oftast blir det VVX från Alfa-Laval. Annars är de (IKA) förtjusta i VVX från AJ som har färdiga paket). Tryckfallet påverkar pumpval.

Placering av cirkulationspump

På returledningen från radiatorkretsen. Av slentrian. Har förekommit annan placering.

Påfyllning

Kallvatten. Ingen automatisk påfyllnad! (läckagerisk)

Avluftning

En stor avluftare av typ spirovent (fast annan tillverkare, väljs av VVX-tillverkaren. Denna plockar bort mikrobubblor. Ingen annan avluftning behövs då det för det mesta är lägre hus (3 vån). Radiatorn på översta plan är högsta punkten. Radiatorerna luftas vid påfyllnad av systemet.

Inga skillnader i system eller dimensioneringstänkandet då det gäller olika temperaturnivåer (80/60 eller 60/40).

Långa kulvertsystem minskar behovet av expansionskärl. Till 200kW uppvärmning och 250kW VV räcker 200l (mot tidigare ca 1000) tack vare stora kulvertsystem.

Företag: Tengman Konsult AB

Kontaktperson: Anders Tengman, 22/12-04

Tryckfall i radiatorväxlaren:

Vid val av värmeväxlare spelar materialet roll.

Rörväxlare är dyra, läckagerisk pga. av porer i material.

Platt-VVX: tidigare läckagerisk i packningar mellan plattor. Lödade platt VVX finns inte den problematiken, dock är vattenkvaliteten viktig. Klorider kan ställa till stora problem.

Som exempel på korrosiva miljöer nämndes arabvärlden där höga kloridhalter förekommer i vattnet, exempel på "rostfri" VV-beredare som korroderat sönder efter 3 månader. Även i västvärlden används klorider som vattenrening (desinfektion). Det finns andra alternativ, men de är kostsamma.

Entreprenörformer påverkar projekteringen.

Generalentreprenad: Beställaren gör ritningar

Totalentreprenad: Beställaren ställer krav på funktion

Vid dimensionering av VVX tas hänsyn till försmutsningsrisk (för snål dimensionering → försmutsningsproblem, viktigt att inte överdimensionera heller pga. risk för laminär strömning).

Olika ägarformer av VVX förekommer och påverkar projekteringen. Antingen äger fastighetsägaren VVX, eller så gör FJV-bolaget det.

Pumpvalet beror av tryckfallet i radiatorkretsen, tryckfallet i VVX (där lågt tryckfall önskas) samt av priset.

Placering av cirkulationspump

Förr placerades alltid pumpen på den kalla sidan (returledningen) pga. att packningarna i pumpen ej höll för temperaturen på den varma sidan.

Numera placeras alltid pumpen i tillloppet till radiatorkretsen då packningarna klarar värmen bättre. Anders beskriver problematiken med shuntning på delar av radiatorkretsen. Då temperaturen inte är tillfredställande i en "shuntslinga" installeras alltför ofta en extra pump i den slingan. Detta medför att framledningstemperaturen sänks. Detta borde istället åtgärdas med injustering eller vid behov uppgradering till större huvudpump.

Varvtalsreglerad cirkulationspump väljs.

Påfyllning

- KV - oerfaren

+ Förhöjd temperatur. Förr installerades avkokare så vattnet kokade innan det fylldes på. Numera är detta mycket ovanligt.

+ FJV-vatten (direkt från FJV-sidan). Olagligt, men bra.

+ Köpt FJV-vatten av FJV-bolaget (direkt från FJV-sidan)

+ Köpt avkokat vatten som kommer med tankbil (från FJV-bolaget)

Avluftning

Spirovent innan pumpen. Detta är dock inte alltid tillräckligt. Kompressor som lokalt sänker trycket och därmed avluftar vattnet de första åren efter installation är bra. Denna typ av anläggningar finns som flyttbara.

Vid höjdpunkter (där ej radiatorerna är den högsta punkten) placeras avluftningsanordning. Automatiska eller manuella förekommer. De automatiska finns av olika kvalité och fungerar olika bra. De automatiska avluftarnas tillförlitlighet kan vara ett problem. Även försmutning från avluftarna är problem (de sprutar vatten/luft → sörja). Viktigt med rörförstoring så att luften verkligen fastnar i avluftaren.

Vid projektering beskrivs i allmänna ordalag avluftarnas placering då det är alltför stor skillnad på teori och verklighet.

Skillnader mellan olika temperaturnivåer i systemen är för små för att de skall ha någon större betydelse ur luftproblematisering synvinkel.

A har erfarenheter av VVS i utlandet med då han varit i utlandstjänst i England 2 år, arabvärlden 5 år (mest kyla), samt 30-35 år på konsultsidan i Sverige.

Företag: Agera VVs-design

Kontaktperson: Krister Alinder, 24/1-05

Tryckfall i radiatorväxlaren:

Inget problem. Tryckfallet beror på typ av VVX (rör eller platt). Tryckfallet handlar om driftekonomi. Reglerbara pumpar (automatiskt) håller rätt tryck i systemet, vilket innebär att problem med tryckförluster i VVX elimineras.

Placering av cirkulationspump

Tilloppet till radiatorerna. Expansionskärl på sugsidan. Detta ger god ”koll” på de statiska trycken i anläggningen. I dagens lågtemperaturssystem spelar pumpens placering liten roll med avseende på värme i pumpen.

Påfyllning

Varmvatten vanligast. Det förekommer ibland avgasning med mobil anläggning.

Avluftning

Mikrobubbelavskiljare på sugsidan av pumpen och varma sidan av VVX. I vissa anläggningar finns avluftare utplacerade i höjdpunkter, annars då radiatorer är höjdpunkter avluftas dessa. Det beror på anläggningens utseende. Avluftning finns med i tankearbetet vid projektering, individuellt från fall till fall.

Högtemperatursystem är generellt lättare att avlufta, men moderna mikrobubbelavskiljare gör lågtemperatursystem problemfria.

Finns system med FC högt placerat. Detta är en fördel ur avluftningssynpunkt.

Ingen principiell skillnad mellan 1,2&3-rörssystem, dock krävs det mera tankearbete och erfarenhet då systemen skiljer sig från de vanliga.

Företag: Roventus vvs-konsult AB
Kontaktperson: Hilding Johansson, 25/1-05

Tryckfall i radiatorväxlaren:

Vid rätt dimensionerad VVX är det inga problem. Ses som en komponent bland andra. Tryckstyrda pumpar anpassar flödet efter behov.

Placering av cirkulationspump

På framledningen till radiatorkretsen. Exp-kärl på sugsidan. På så sätt får man rätt nivå på trycket i hela anläggningen. Tryckstyrda pumpar innebär många fördelar och används nästan helt uteslutande.

Påfyllning

VV med backventil. Eventuellt med KV (sällsynt)

Avluftning

I högpunkter föreskrivs automatiska avluftare där de är placerade synliga. I fall med dolda avluftare/då vattenskador kan förekomma finns manuella avluftare. I vissa fall förekommer rörförstoring med mindre rör ner på väggen för manuell avluftning (gäller speciellt stora anläggningar) Automatiska avluftare fungerar bra, men läckagerisk finns, speciellt vid ett ingrepp i anläggningen då de eventuellt luftas manuellt och efter det brukar de inte sluta tätt.

Spirovent vid FC. På varma sidan före eller efter pumpen. Före är nog bäst, men efter förekommer med.

Avluftare av typen spirovent förekommer ofta och har blivit vanligare. Duktiga marknadsförare. Det har alltid fungerat innan utan denna typ av kontinuerliga avluftare.

Sänkta systemtemperaturer innebär ökat problem med luft, vilket innebär att avluftare kan vara av större nytta. Höjs dock temperaturen till 95°C under viss tid och avluftas sedan är vattnet en gång för alla avluftat och behovet av kontinuerlig avluftning minskar.

Hilding var osäker på spiroventens placering och tittade på "systemlösningar" från tillverkare av FC. Har där sett olika typer av placering.

Bilaga 1. Samtal med VVS.konsulter

Företag: MVB Mellansvenska VVS-byrån AB
Kontaktperson: Anders Hollinder, 25/1-05

Tryckfall i radiatorväxlaren:

Påverkan ses som andra komponenter. Tryckfallet behandlas som övriga komponenter.

Placering av cirkulationspump

Numera i tilloppet till radiatorkretsen. Detta för att få tryck i systemet. Expansionskärlet på pumpens sug sida.

Påfyllning

Kranvatten är det vanligaste. FJV-vatten förekommer.

Avluftning

Beroende på storleken av anläggningen och dess utformning.

På radiatorerna är det vanligast

Spirovent på sugsidan av pumpen

Luftklockor förekommer, men ej vanligt (där automatisk avluftning ej är lämplig)

Automatiska avluftare på höjdpunkter

Temperaturnivåer i systemet avgörs av normkrav. Ingen lägger ner tid på att räkna på eller undersöka skillnad av avluftning mellan olika temperatursystem.

Skillnad mellan anläggningar utförda av entreprenör och konsult. Anders säger att det förekommer anläggningar där entreprenörer utför hela anläggningen (även dimensionering), och då kan den se annorlunda ut då de ej har samma kunskap.

Företag: TRIA VVS-konsult AB

Kontaktperson: Tor Skjören, 25/1-05

Tryckfall i radiatorväxlaren:

Större tryckfall i VVX innebär en större pump. Annars ses VVX som en del i systemet som vilken annan.

Placering av cirkulationspump

Vill helst placera cirkulationspumpen på framledningen till radiatorerna. Då erhålles bättre koll på trycket i anläggningen och därmed minskar luftproblemen. Exp-kärlet placeras varsomhelst före pumpen (precis innan eller efter VVX).

Påfyllning

VV –vanligast, men även KV förekommer.

Avluftning

Spirovent används och placeras på olika ställen (före eller efter pumpen)

På höjdpunkter placeras automatiska avluftare då de är tillgängliga och synliga, det finns läckagerisk förknippade med denna typ av avluftare.

Manuella avluftare på ställen som ej är åtkomliga (ex. rörförstoring med rör och ventil ner till åtkomlig punkt).

Avluftning sker med stillastående system.

Bilaga 1. Samtal med VVS.konsulter

Företag: Lycksele VVS konsult AB

Kontaktperson: Björn Karlsson, 25/1-05

Tryckfall i radiatorväxlaren:

Ses som en komponent bland andra i systemet.

Placering av cirkulationspump

Idag i framledningen till radiatorerna, historiskt i returen. Tekniskt sätt spelar det ingen roll. Exp-kärlet ansluts till returledningen från radiatorerna. (expkärlet•VVX•pump•radiatorer)

Påfyllning

VV

Alltid fast installerad påfyllnad i projekteringen.

Avluftning

Systemberoende.

Manuella i högpunkter.

Automatiska av flottörprincipen, åtkomliga i höjdpunkter.

I högpunkter förekommer det rörförstoring och rör ner med ventil vid icke åtkomliga punkter.

EJ mikrobubbelavskiljare.

Temperaturnivån i systemet påverkar ej tänkandet för avluftning.

Företag: MNO ingenjörer AB

Kontaktperson: Peter Norgren, 27/1-05

Tryckfall i radiatorväxlaren:

Effekten bestämmer växlarens storlek. Tryckfallet bestämmer pumpens storlek (tillsammans med det övriga systemets tryckfall). Ses som en komponent bland andra.

Placering av cirkulationspump

Vill placera den i returen för att få upp tryck i VVX. Minskar även risk för oljud. Förr var returen vanligast pga. lägst temperatur, något som dock inte längre spelar någon roll.

Dock är det vanligast med placering på framledning.

Exp-kärlet vill Peter ha på pumpens trycksida, dock är det viktigt att ha koll på det statiska trycket.

Om den nödvändiga förtryckningen är i närheten av maximalt tryck för exp-kärlet flyttas det till pumpens sug sida istället.

Påfyllning

Fylls på med VV

Avluftning

Luftningsmöjligheter på höjdpunkter, automatiska på höjdpunkter. Rätt hastighet på flödet är viktigt för att få luften dit man vill.

Mikrobubbelavskiljare förekommer på större anläggningar. Monteras på varmaste stället enl. tillverkarens anvisning.

Uppfångande volym där avluftare placeras förekommer ej i lika stor utsträckning idag. Detta i kombination med lägre temperatur och dålig kontroll av flödet gör att systemen blir svårare att avlufta. Förr sattes alltid avluftare på rör av större dimension.

Vid konvertering till FJV av fastigheter med högre temperatursystem erhålles ganska ofta problem med att få bort luft. Detta pga. lägre temperatur (svårare att få ut luften) samt för låga flöden (luften kommer inte dit den ska (för att komma ut). Detta innebär att systemen blir svåra att justera.

Företag: CeteTherm (Alfalaval)

Kontaktperson: Rolf Jönsson, 27/1-05

I FC placerades pumpen fram till 98 i returledningen, från 98 tills alldeles nyligen placerades pumpen i framledningen. Idag placeras den åter i returledningen för större anläggningar och i framledningen för små anläggningar. Anledningen till att pumpen placeras i returledningen är främst av konstruktionsskäl. Stora anläggningar kräver stora pumpar, som därmed är tunga, och därför placeras pumpen så lågt i anläggningen som möjligt av monteringsskäl. Konstruktionen för att placera pumpen på framledningen är betydligt dyrare då kraftigare stativ/fundament/infästningar behövs. Förr ansågs temperaturen vara av vikt för pumpens placering (varm pump -> läckage pga. dåliga packboxar mm). Pumpen placeras vertikalt, bäst kylning av elektronik, minskad risk för luftansamling.

Vid mikrobubbelavskiljare bör den placeras på pumpens sugsida och på framledningen (hög temperatur). Denna typ av lösning förekommer ganska ofta då mikrobubbelavskiljare skall installeras. Mikrobubbelavskiljaren kan dock placeras på returledningen enligt Rolf (som diskuterat detta med RE Therm). Den får något försämrad kapacitet, men det viktigaste är att den är placerad på sugsidan av pumpen, och inte att den sitter på den varma sidan. Även mikrobubbelavskiljare är stora och tunga för stora anläggningar och bör därför även placeras lågt i anläggningen.

Mikrobubbelavskiljaren gör mest (och helt uteslutande) nytta vid påfyllnad av anläggningen. Ett system med luft är mycket svårt (för att inte säga omöjligt) att justera in. Gungningar i systemet kan förekomma om luft finns i systemet därför att systemet inte är stumt.

Det viktigaste i samband med placering av cirkulationspumpen är placeringen av exp-kärlet. Exp-kärlet skall alltid anslutas till sugsidan på pumpen!

10/2-05

Påfyllnad av radiatorsystemet sker med VV. Fast installerad med backventil enligt normer. Tidsvinst att fylla systemet med VV. Det är viktigt att få ut all luft ur systemet för att kunna göra en injustering. Om luft finns i systemet kan svängningar förekomma (tryckpendlig, gungningar).

Bilaga 2. Samtal med tillverkare av fjärrvärmecentraler

Företag: Swe Therm

Kontaktperson: Johan Källberg, 27/1-05

Pumpen placeras som regel vertikalt i framledningen till radiatorkretsen. Detta av platsmässig aspekt (stativet är utformat så). Till större anläggningar tillhandahåller ofta kunden pumpen och därmed kan placeringen variera.

Utför stora anläggningar på direkt uppdrag av kund och gör då egna ritningar.

I större anläggningar har det förekommit att kunden önskar mikrobubbelavskiljare, som då placeras enligt tillverkarens rekommendationer. Annars finns det på mindre FC manuell avluftning på högsta punkten.

Ingen plats lämnas åt mikrobubbelavskiljare i FC om inte kunden önskar så.

Expansionskärlet placeras på pumpens sugsida.

Kavitation har upptäckts, men ytterst sällan och då har felet lokaliserats till felaktigheter på pumpen.

Hård prispress, därför endast manuella avluftare.

I villacentraler finns ibland problem med att få ur luft ur systemet och därmed dröjer det innan injustering kan utföras korrekt. Luftning får vid påfyllnad av sådant system ske i flera omgångar under viss tid.

På frågan om de rekommenderar att tillfälligt höja temperaturen i radiatorkretsen för att snabbare få ut luft svarade Johan nej, men att det inte var otroligt att installatören gör detta då systemet tas i drift.

Bilaga 2. Samtal med tillverkare av fjärrvärmecentraler

Företag: Alstom

Kontaktperson: Per-Åke Sundhäll, 27/1-05

Sysslar med prefabricerade mindre FC upp till 25 lägenheter.

Det viktigaste då det gäller pumpplaceringen är att pumpan uppåt (eller möjligtvis horisontellt) för att undvika att luft samlas i pumpen.

Pumpen placeras i returen där lägst temperatur finns. Alla styrventiler i returen för att verka vid så låg temperatur som möjligt.

Exp-kärlet monteras på sugsidan av pumpen.

I centralen finns (vid röranslutning nedåt) luftning (numera manuell) på högsta punkten. Tidigare användes automatisk avluftning, men reklamationer och läckage medförde övergång till manuella. Mikrobubbelavskiljare används ej.

Inga störningar eller kavitationsproblem har observerats.

Påfyllnad av systemet sker med VV.

Per-Åke tipsar om behov av anvisningar för att få de husinterna systemen att fungera väl då det gäller konvertering till FJV. Tidigare vid panndrift finns shuntgrupp som ofta ställer till problem. Systemen ofta inte justerade för att ge låga returtemperaturer, något som vid FJV-drift önskas.

Företag: LPM

Kontaktperson: Ola Randal, 28/1-05

Pumpen placeras som standard i framledningen. Detta för att det passar bäst in i utförandet av anläggningen (produktionstekniskt). Det förekommer att kunden vill ha pumpen i returen, detta görs då, med extra rördragning är då tvunget. Tryckstyrda pumpar är vanligast i större anläggningar (ca hälften av stora anläggningar i STHM regionen). Mindre anläggningar upp till ca. 20-25 lägenheter är det vanligast med fasta pumpar.

Det förekommer att kunden önskar en tryckstyrd pump i kombination med strypning, något som inte Ola direkt rekommenderar. De försöker förklara att det inte är en bra lösning, då det är pumpen som själv skall styra trycket, men det förekommer i alla fall. Enda anledningen till detta som Ola kan se det är om kunden ev. vill veta flödet i kretsen.

Expansionskärlet ansluts på returen (expkärlet•VVX•pump•radiatorer), förutom på de vägghängda anläggningarna där exp-kärlet ansluts till sugsidan av pumpen (på varma sidan).

Påfyllnad av systemet kopplas till VV, något annat föreskrivs ej, dock kan det säkert inträffa att kunden fyller på med avgasat vatten.

På vissa anläggningar (främst till ett par kunder i STHLM) görs en extra ledning med kulventiler där vattnet kan passera genom ett filter för att tillsätta kemikalier. Detta verkar vara regionalt (STHML) och endast vissa uppdragsgivare.

Avluftning sker relativt ofta i större anläggningar med automatiska avluftare (typ spirovent). Dessa placeras då på den varma sidan så nära VVX som möjligt och på pumpens sug sida.

Företag: NordIQ

Kontaktperson: Peter Gummérus, 28/2/05

Pumpen placeras alltid på returen från radiatorsystemet.

Pumpen bör placeras först och främst så att man undviker kavitation.

- Ur tryckfalls synvinkel bör den placeras i returledningen vid värmeväxlarens inlopp, men före smutsfiltret. Man kan tycka att smutsfiltret borde sitta före pumpen men dagens cirkulationspumpar är okänsliga för mindre smutspartiklar, däremot kan filtret ge upphov till stora tryckfall vid ansamling av smuts och orsaka kavitation.
- Tryckhållningstanken placeras nära pumpens sugsida.
- Det finns ingen anledning att tro att radiatorernas termostatventiler arbetar bättre om pumpen placeras i framledningen så att "det första tryckfallet" utfaller i ventilerna.
- Även ur arbetstemperaturens synvinkel bör pumpen placeras före värmeväxlaren då risken för kavitation är mindre vid lägre temperatur. Dessutom mår styrelektroniken som de moderna pumparna är utrustade med bättre vid lägre temperatur (oavsett vad pumptillverkare säger om detta).

Påfyllnad av radiatorsystemet sker med tappvatten, varmvatten helst. Helst skulle Peter vilja fylla systemet med avgasat vatten. Avgasat vatten kan erhållas med undertrycksavgasning eller inköpt fjärrvärmevatten. Peter säger dock att detta inte förekommer.

Luften måste bort från systemet.

Mikrobubbelavskiljare placeras på framledningen till radiatorsystemet (där temperaturen är som högst).

Bilaga 2. Samtal med tillverkare av fjärrvärmecentraler

Företag: Tau District Heating AB

Kontaktperson: Lars Persson, Samtal mellan Janusz Wollerstrand och Lars Persson, februari 2005

Pumpen placeras i returen från radiatorkretsen, då den har längre livslängd vid denna placering. Det är bättre att placera pumpen före VVX än efter eftersom tryckfall bör undvikas på pumpens sug sida.

Avluftning - inga problem.

Bilaga 3. Samtal med radiatortillverkare

Evecon AB

Henrik Ottosson, 31/1-05

Generellt är luft i systemet inget problem. Vid påfyllnad luftas systemet enligt allmänna regler. Den luft som eventuellt sedan finns kvar är konstant, och blir så småningom ”dött vatten”. Nytt syre tillförs ej då radiatorsystemet är tätt och rätt tryck hålls i systemet.

Syre i systemet kan medföra rost och sämre cirkulation.

Viktigt att bli av med luften från början i systemet. Kommer syre in i systemet kontinuerligt kan problem uppstå. Det finns invändig korrosionsbehandling av radiatorer, men detta har en begränsad livslängd, sedan är rostskyddet förbrukat.

Problem orsakade av luft i systemet är ej vanliga. De problem som uppstår tar lång tid innan de märks, vilket innebär att endast den läckande radiatorn byts och det eventuella fel/orsak söks ej.

50 år gamla radiatorer har börjat läcka. Finns ingen direkt koppling mellan utbyte av värmekälla/temperaturnivå.

Inga krav på lufthalten i radiatorvattnet.

Bilaga 3. Samtal med radiatortillverkare

Företag: Retting heating AB (PURMO)

Kontaktperson: Emanuel Johanson (säljare syd, 040-127070), 31/5-05

Syret måste bort vid påfyllnad. Helst skall det inte vara någon luft alls.

Inga gränser för luftinnehåll i vattnet.

Emanuel har tidigare jobbat med installation (projektledare)

Fel som orsakas pga. Luft är främst dålig/låg/ojämn temp. på radiatorerna.
Om luft finns i systemet innebär det problem med injustering.

Viktigt att låta systemet snurra på så att all luft kan fås ut. Detta kan ta tid!

Viktigt att inte ha kontinuerlig påfyllnad av luft.

Luft som leder till korrosion är ovanligt, långsökt.

Inget temperaturberoende har märkts (ex. vid byte av system med lägre max. temperatur).

Radiatorerna är förtryckta enl. PM10 (13bar)

Bilaga 3. Samtal med radiatortillverkare

Företag: Korado AB

Kontaktperson: Ove Börjesson, 31/5-05

Inga krav eller fastsatta nivåer kring vattnets luftinnehåll finns. Dock bör systemet vara luftfritt.

Luft i radiatorsystemet märks främst genom oljud (porlar och susar). Luft försämrar cirkulationen, radiatorer blir ej varma.

Instruktioner lämnas med radiatorerna där det står om drift och skötsel. Luftning viktig för att få god funktion och undvika korrosionsproblem.

Uppvärmrt vatten innebär att luft försvinner. Det finns flera 50 år gamla anläggningar med fina radiatorer där inga spår av luft finns.

Lägre temperaturer (lågtemperaturssystem, värmepumpar, FJV) kan tänkas ställa till problem. Vattnet bör värmas till 80°C för att släppa luft. Detta är något som vore intressant att studera.

Rost går fort om luft tillförs kontinuerligt. Hustillverkare som använde PEX-rör innan de blev diffusionstäta fick problem med rostande radiatorer redan efter 3-4 år.

Förr lades golvvärme i privatbostäder ibland med PEM (som ej är diffusionstät) och fick därmed problem med rostande radiatorer.

Golvvärmesystem kan vara svåra att lufta ordentligt.

Bilaga 3. Samtal med radiatortillverkare

Företag: EPECON AB

Kontaktperson: Bo Nilsson, 2/2-05

Inga nivåer på maximal halt syre i vattnet finns. Det skall inte förekomma luft!

Vid påfyllnad av systemet skall det luftas, detta innebär att ingen luft skall vara kvar i systemet. Radiatorerna är endast avsedda för slutna system där luft inte skall förekomma.

Luften angriper radiatorerna inifrån (rost). Detta är dock inte särskilt vanligt.

Om det finns luft i systemet påverkas inte bara radiatorerna negativt, utan även ventiler.

Inga indikationer fås på att lågtemperatursystem skall vara mera utsatta än högre temperatursystem.

Om en fastighetsägare får byta ofta/många radiatorer pga. rost måste felets orsak undersökas. Luftinsugning (ej tätt) är det vanligaste felet.

Bilaga 3. Samtal med radiatortillverkare

Företag: Thermopanel

Kontaktperson: Jonas Skeppås, 2/2-05

Inga gränser på syrehalt finns. Syre får inte tillföras kontinuerligt (insugning, påfyllnad).

Systemet fylls på och luftas av. Det bör köras upp till maximal systemtemperatur (som anläggningen kan ge) för att snabbare få ut syre. Det bör efteravluftas efter en tid, något som sällan utförs.

Syre i vatten anses inte vara ett stort problem (därmed inte sagt att det inte är ett problem).
Luftinsugning förekommer i vissa anläggningar där trycknivåerna är fel, detta medför rostangrepp.
(Detta betraktas som systemfel och inte produktfel)

Tidiga installationer med PEX var inte diffusionstäta, vilket innebar kontinuerlig syresättning av vattnet. Detta fick till följd att radiatorerna rostade sönder snabbt. Hela värmesystemet måste då bytas ut.

Radiatorer kopplas ibland felaktigt in på VVC, vilket medför mycket snabba rostangrepp.

Reklamationer på radiatorer har ej ökat vid övergång till lågtemperaturssystem. Dock ställer dessa högre krav på den som utför avluftningen än i anläggningar där vattnet i princip kokas i pannan och på så sätt blir syrefritt. Avluftningen i ett lågtemperaturssystem tar längre tid.

Bilaga 4. Samtal med återförsäljare av cirkulationspumpar och avluftningsanordningar

Företag: Wilo

Kontaktperson: Rolf Jonasson, 25/1-05

Placeringen av pump beror delvis av typen av pump. Våtalöpande pumpar är mera känsliga då det gäller kavitation.

Spontant säger Rolf att pumpen bör placeras på retursidan (från radiatorkretsen). Detta på grund av kavitationsproblem som ökar med högre temperatur.

Ur temperatursynpunkt har det ingen betydelse. Pumparna skall fungera med vätsketemperaturer upp till 130-140°C.

Vertikal pumpplacering är bäst ur avluftningssynpunkt (minskar risken att luft fastnar i pumpen).

Det statiska trycket där pumpen placeras har betydelse.

Företag: Grundfos

Kontaktperson: Dickie Kristiansson, 25/1-05

Det viktigaste med pumpens placering är inte på vilken sida av VVX den placeras, utan hur den placeras i anslutning till expansionskärlet. Det viktiga är att pumpens sug sida är ansluten till expansionskärlet, för att få ett så högt lägsta statiskt tryck som möjligt. Dickie rekommenderar på framledningen till radiatorerna. Temperaturen på vattnet vid pumpen är av mindre betydelse i vanliga system.

Om pumpen placeras på retursidan från radiatorkretsen bör expansionskärlet även då vara i anslutning till pumpens sug sida.

Vissa projekterare vill ha pumpen där det är som kallast (i returen från radiatorkretsen).

Pumpen bör placeras lågt i systemet. Helst med uppåtriktad strömning, dock ej allra längst ner i systemet pga. smuts.

Med *mikrobubbelavskiljare* menas här en avskiljare eller anläggning för att sänka trycket lokalt och på så sätt lösa ut mikrobubblor.

Med mikrobubbelavskiljning finns risk för ångbildning i pumpen då trycket sänks. Dickie är positiv till mikrobubbelavskiljare. Utan mikrobubbelavskiljare kommer mikrobubblorna att "fälla ut" i pumpen och därmed sänka pumpens kapacitet. Bubblorna kommer åter att "lösa sig" i vattnet när trycket höjs. Mikrobubbelavskiljare behövs eftersom systemen ej är diffusionstäta.

Placering av avskiljaren:

Kylsystem på sugsidan

Värmesystem på trycksidan av pumpen, dock enligt återförsäljares rekommendationer.

Företag: Armatec

Kontaktperson: Christer Johansson, 25/1-05

Sysslar bla. med tryckhållning och avgasning.

Henrys lag- gasers löslighet i vätska är grunden för allt tänkande. (tryck- och temperaturberoende)

Gas frigörs vid låga tryck och hög temperatur

Mikrobubbelavskiljare bör därför placeras på pumpens sug sida och den varma sidan av VVX.

Pumpen på varma sidan.

Undertrycksavgasning: ett delflöde avleds och utsätts för lokal trycksänkning och på så sätt frigörs gas. Denna typ av anläggning är inte särskilt tryckberoende och kan därför placeras oberoende av pumpens placering. Däremot fungerar den bäst vid ca 60-70°C.

Vid lägre temperaturer är det viktigare med undertrycksavgasning.

I höghus förekommer låga tryck. I höjdpunkter sätts då lämpligen avluftare in (luftfångare med lokalt lågt flöde för att fånga luften).

11/2-05

I Handboken står att direkt efter pumpen kan vara den bästa placeringen av avskiljaren. Christer förklarar:

Att placera luftavskiljaren direkt efter pumpen kan vara en mycket effektiv placering, då flödet *direkt efter* (så nära det går) pumpen innehåller luftbubblor som skapas i pumpen pga. trycksänkning.

Studier av flödet efter pumpen (genom plexiglas) visar att det lokalt efter pumpen finns luftbubblor i flödet. Dessa bubblor försvinner ganska snabbt (pga. trycket). Med denna placering är det alltså pumpen som "producerar" luftbubblorna.

Detta kan öka de mycket små risker för kavitation i pumpen. Pumptillverkare önskar så homogent flöde som möjligt.

Företag: Re Therm

Kontaktperson: Mats Rydén 16/12-04

Re Therm tillverkar olika typer av avluftare för bla. värmesystem. Kontinuerlig avluftning sker med Spirovent som lämpligast placerar där trycket är lägst och temperaturen som högst. Vid hög temperatur går större andel av luften i vattnet ut i mikrobubblor som fångas in av spirovent. När sedan temperaturen sjunker i radiatorkretsen (vid cirkulation) ökar vattnets förmåga att samla lösa luft och därmed fångas luft upp i vattnet, som sedan värms upp i VVX och blir mikrobubblor för att sedan fångas i spiroventen. Detta fungerar på schakt upp till 15-20m. Vid högre schakt är trycken högre och därmed minskar detta fenomen. (utnyttjar Henrys lag om gasers löslighet i vatten).

Vid högre system rekommenderas istället [Spirovent Air Superior](#) som klarar avlufta högre schakt. Denna är dock dyr. Billigare lösning skall introduceras i januari.

Till högsta punkter rekommenderas spirotop, en automatisk luftklocka som automatiskt tömmer systemet på luft främst vid påfyllnad. Skall finnas flera fabrikat på marknaden.

Vid påfyllnad rekommenderas så varmt vatten som möjligt. Även vid driftstart för att snabbt få ut luften ur vattnet. Allra helst avluftat vatten, men detta används främst i stora anläggningar.

Mats tipsar om artikel i *VVS teknik & installation, oktober 2004*

1/3-05

Då pumpen är placerad i returledningen bör mikrobubbelavskiljaren placeras på den varma sidan.

Företag: NVS, Malmö

Kontaktperson: Åke Wallentin, 2/2-05

Luftproblematik

Resultatet blir nersatt cirkulation. Dålig värme. Kan uppstå pumpproblem, detta är dock ganska ovanligt. Felen på pumpen blir då oftast lagerfel och oljud. Detta händer främst då pumpen ej placerad så att den är självavluftande.

Ständig syretillförsel kan medföra stora korrosionsskador. Problemet var vanligare förr då ej diffusionstäta slangar användes främst till golvvärme (görs ej numera).

Avluftning

Högpunkter utrustas med avluftningsmöjlighet (alla tänkbara varianter, manuella, automatiska...)

Mikrobubbelavskiljare (på returen) kan förekomma.

Vid avluftning höjs temperaturen i systemet. FJV och V-pump har vissa begränsningar men V-pumpar är oftast anslutna till en el-panna eller har el-patron och då kan temperaturen höjas till betydligt högre nivåer än 55°C drift då ingen värmelast finns.

Pumpens placering

Pumpen placeras på returledningen då detta är bäst för pumpen. I högtemperatursystem är framledningstemperaturen hög. Kalla vinterdagar är returen 20°C lägre i returen än i framledning därför placeras pumpen där. Förutom temperaturaspekter spelar pumpens placering ingen roll.

Exp. kärl

Ej på pumpens sug sida (slutna) då ledningen till exp-kärl har en luftning. Uppstår här undertryck kan det bli luft. För öppna exp-kärl spelar placeringen mindre roll. Vanligtvis placeras slutna exp-kärl i framledningen via rör med avluftare, röret skall ej vara avstängningsbart mot pannan/värmekällan.

Företag: Lunds energi

Kontaktperson: anonym, 2/2-05

Pumpplacering

På returen från radiatorerna. Detta för att trycka in vattnet i VVX. Pumptillverkare rekommenderar detta med.

Exp-kärl

På pumpens sug sida. För att inte trycka upp vatten i exp-kärl. Med denna placering fås övertryck överallt i systemet.

Problem med luft i systemet

Kunder klagar på dålig värme. Främst villakunder. De som har serviceavtal besöks. Ofta behöver systemet fyllas på och luftas. Kunder äger anläggningen och tror ofta att den skall sköta sig själv. Vissa större anläggningar fylls på/kontrolleras med vissa intervall.

Inga direkta driftproblem med luft i system har påträffats. Tankar på kavitation och ångbildning har X svårt att tänka sig (i slutet radiatorkrets). Då måste systemet i princip vara tomt och allt tryck släppt.

Företag: Bravida, Lund

Kontaktperson: Göran Olsson, 3/2-05

Pumpplacering

Pumpen placeras på framledningen till radiatorsystemet. Pumpen är konstruerad för att trycka genom systemet. Vid annan placering är det i ett öppet system risk för luftinsugning. I små anläggningar är pumpen placerad i en fast position.

Luft

När anläggningen fylls är vattnet syresatt. Detta syre måste bort. Små anläggningar manuell avluftning. Större anläggningar finns ofta avskiljare (typ Spirovent eller större variant som antingen är fast installerad i anläggningen eller hyrd för att endast vara i drift tills syret är borta).

Manuella luftklockor görs, automatiska avluftare på högpunkter används sällan då de ofta läcker eller får andra fel.

Vid befintliga anläggningar försöker man få så lite vatten tömt ur systemet som möjligt.

Luftproblem

Sällsynta. I förhållande till antalet radiatorer är det få som byts. Annars inga problem med luft.

Kan vara svårt att få rätt på golvvärmeanläggningar där slingorna kan vara ”vågiga”. Det går dock att få ut luften, tar längre tid, noggrannhet.

Ingen märkbar ökning av luftrelaterade fel vid övergång från panna till FJV eller V-pump.

Företag: SABO

Kontaktperson: Gunnar Wiberg, 26/5-05 samt 31/5

Pumpplacering

Pumpen skall placeras i framledningen till radiatorsystemet. Kavitation i cirkulationspumpar har Gunnar aldrig hört inträffa i verkligheten. Med pumpen placerad på framledningen till radiatorkretsen minskar risken för att luft skall sugas in i värmesystemet. Luftinträngning kan främst ske genom avluftare om trycket i anläggningen är för lågt.

Luft

När anläggningen fylls med tappvatten är vattnet syresatt. För att injustering skall kunna ske och fungera måste luften bort. Undertrycksavgasare fungerar mycket bra. Dessa finns både som permanenta och mobila. I samband med ingrepp och påfyllnad av radiatorsystemet är det väldigt bra med undertrycksavgasare som snabbt tar bort gasen som finns i vattnet. Det borde därför vara av intresse för installatörer att inskaffa mobila undertrycksavgasare och hyra ut dem i samband med påfyllnad av radiatorsystemet i de fall då bostadsföretaget/förvaltaren saknar resurser för att själv äga undertrycksavgasaren.

Mikrobubbelsavskiljare (typ Spirovent, men det finns flera andra fabrikat) installerades förr i så gott som samtliga anläggningar, men undertrycksavgasare effektivare. Mikrobubbelavskiljare används numera ej lika frekvent som tidigare.

Dolda automatiska avluftare kan ställa till problem, dels genom inläckage av luft, dels genom utläckage av vatten.

Påfyllnad

Påfyllnad av radiatorsystem sker som regel med tappvarmvatten, även om det på vissa orter förekommer att radiatorsystemet fylls med fjärrvärmevatten eller avgasat vatten. Påfyllnad med vatten från fjärrvärmenätet är ej vanligt, förekommer främst i Uppsalaområdet. Det vore en rimlig tjänst av värmeleverantören att möjliggöra påfyllnad med fjärrvärmevatten. Tekniska problem såsom högre tryck i fjärrvärmenätet jämfört med tillåtet i radiatorsystemet går att lösa rent tekniskt. Om detta är intressant jämfört med avgasat vatten från undertrycksavgasare är en prisfråga. Innehållet på vattnet i fjärrvärmenätet måste säkerställas och anges.

Automatiska påfyllnadsanordningar borde ej vara tillåtna. Med automatisk påfyllnad finns ingen kontroll över mängden påfyllt vatten och därmed är läckage svåra att detektera. Vattenmätare för dokumentation av påfylld vattenvolym är bra. Med kontroll och uppsikt överpåfylld vattenvolym kan läckage som annars inte skulle ha upptäckts indikeras.

**Association for Finnish energy industries,(Finland, telefonkontakt)
Mirja Tiitinen, 4/2-05**

Kontakt på fd. Finska fjärrvärmeföreningen som tillsammans med flera andra branschorganisationer har gått samman och under nytt namn bildat Association for Finnish energy industries.

I Finland är det husinterna systemet alltid skilt från fjärrvärmenätet. Har i princip alltid varit så.

Radiatorsystemet fylls med tappvatten (kallt är antagligen vanligast). Finns försök med avluftat vatten. Mirja känner till företag som säljer sådant vatten. Detta används ibland. Vatten från fjärrvärmenätet är ej till för att fylla radiatorkretsen.

Pumpen rekommenderas att placeras på den kalla sidan (returen från radiatorsystemet). Dock är många FC idag prefabricerade, och de följer inte alltid dessa rekommendationerna.

Exp-kärlet skall placeras på kalla sidan, och på pumpens sugsida för att få övertryck i hela systemet. Därmed minskas risken för inträngning av luft.

Syre anses inte vara ett stort problem i anläggningar.

Det finns rekommendationer från finsk fjärrvärmeföreningen på kopplingsprinciper och komponenter till FC på hemsidan (<http://www.energia.fi/attachment.asp?Section=400&Item=7300>). På sidorna 29-31 finns FC-kopplingar (nr 1-större anläggningar, nr 2-mindre, nr 3-enfamiljshus). Dessa rekommendationer finns dock bara på finska!

**Helsingfors energi (Finland, telefon och e-postkontakt)
Turo Eklund, 4/2-05**

Hello Per-Olof,

We are implementing recommendations and model connection schemes of the Finnish District Heating Association so my answer cover practically the whole country.

- 1) Always indirect radiator system connection
- 2) Hot water
- 3) the pump is on the cold side. Main reason is the lower temperature level, in some cases also the radiator system expansion arrangements may be partly the reason.

If you need some further information don't hesitate to contact

Best regards,
Turo

**Dansk Fjernvarme (Danmark, telefon och e-postkontakt))
Mette Hansen, 14/2-05**

I Danmark är ungefär hälften av anläggningar anslutna direkt till fjärrvärmenätet, hälften via VVX.

På fyllnad av radiatorsystemet görs som regel med tappvatten (kallt). Det finns anläggningar som fylls med fjärrvärmevatten.

Mette skickar information om inkopplingsprinciper i Danmark.

Enligt inkopplingsprinciper som erhållits från Mette är pumpen placerad på framledningen till radiatorerna, expansionskärlet på sugsidan av pumpen (på varma sidan av VVX).

e-postkontakt:

Hej Per-Olof

Diagrammerne viser Fjernvarmeforeningens anbefaling. Langt de fleste installationer følger vores anbefaling, også hvad angår placering af de enkelte komponenter.

Jeg kender ikke til andre steder i Danmark, der kan give mere præcise oplysninger.

Med venlig hilsen

Mette Hansen

Dansk Fjernvarme
Galgebjergvej 44, DK-6000 Kolding
Tel. (+45) 7630 8000
Fax (+45) 7552 8962
www.danskfjernvarme.dk

-----Oprindelig meddelelse-----

Fra: Per-Olof Johansson [Per-Olof.Johansson@vok.lth.se]

Sendt: 24. februar 2005 14:35

Til: Mette Hansen

Emne: Re: SV: kopplingsprinciper i Danmark

Tack för ritningarna på dansk anslutning av fjärrvärmecentraler. Jag undrar om ni från fjärrvärmeföreningen har detta som rekommendationer, eller om det är exempel på typiska anslutningar.

Om inte ni har rekommendationer på anslutning (ex. pumpplacering, expansionskärl mm) finns det någon annan som har det?

Axel Olsen (Danmark, e-post kontakt)
Korsør Forsyning A/S

Hej Per

1. Begget systemer anvendes i Danmark.
2. Der kan både påfyldes koldt vand eller fjernvarmevand.
3. Pumpen kan placeres begge steder, dog oftest på den kolde side.
4. Expansionsbeholderen er oftest placeret ved siden af varmeveksleren. Fjernvarmeværkerne i Danmark har en interesseorganisation, ligesom i Sverige. Den hedder WWW.danskjernvarme.dk. Der kan man få yderligere om fjernvarme i Danmark.

Har du yderligere spørgsmål, er du velkommen til at skrive igen.

Med venlig hilsen

Axel Olsen
Korsør Forsyning A/S.
Lilleøvej 3
4220 Korsør
Telefon direkte: 58 36 25 32
E- mail : AIO@korsoerkom.dk

-----Oprindelig meddelelse-----

Fra: Per-Olof Johansson [Per-Olof.Johansson@vok.lth.se]
Sendt: 4. februar 2005 14:16
Til: Aio@korsoerkom.dk
Emne: frågor kring fjärrvärme och värmesystem

Hej,

Mitt namn är Per-Olof Johansson och jag jobbar på Lunds Tekniska Högskola på avdelningen för Värme och Kraft, fjärrvärme. Jag håller just nu på med en mindre bakgrundstudie på hur husinterna radiatorsystem är anslutna till fjärrvärmenätet. Jag har undersökt detta genom kontakt med konsulter, fjärrvärmecentralstillverkare och rörläggare i Sverige.

De frågor som jag vill ha svar på är:

1. Hur ansluts radiator-/värmesystem till fjärrvärmenätet i Danmark? (ex. direkt/indirekt via värmväxlare) Om båda systemen används, vilket är dominerande?
2. Då värmesystemet är skilt från fjärrvärmevattnet med en värmväxlare vad fylls radiatorsystemet med? (ex. varmvatten, kallvatten, syrefritt vatten) Om syrefritt/behandlat vatten hur framställs/erhålls detta vatten?
3. Var är cirkulationspumpen placerad i radiatorkretsen? (ex. varma/kalla sidan av värmväxlaren) Varför?
4. Var är expansionskärlet placerad i förhållande till värmväxlaren och cirkulationspumpen, varför denna placering?

Jag vill gärna veta hur det ser ut i Danmark. Har du möjlighet att besvara mina frågor, eller kan tipsa mig på någon som kan hjälpa mig vore jag tacksam.

Med vänlig hälsning
Per-Olof Johansson, VoK
Lunds tekniska högskola, Box 118, 22100 Lund
Sverige
Tfn. +46 222 40 43
e-postadress: per-olof.johansson@vok.lth.se

Enercon AS (Norge, e-postkontakt)
Mats Rosenberg, 8/2-05 (e-post kontakt)

Hej

Jag skall försöka att svara på dina frågor.
Men de tekniska lösningarna varierar mellan olika fjärrvärmebolag så det finns inte någon generell standard.
Fjärrvärmeföreningen är för liten till att arbeta med teknik utan fokuserar på lobby och policy arbete.

1. Det klart dominerande systemet är indirekt. I de tillfälle att man har direkta system så är det till et villaområde med en central växlare.
2. Radiatorsystemet fylls i de flesta fall med kallvatten. I en del nya system så har fjärrvärmebolaget godkänt att man använder fjärrvärmevatten och tatt betalt för detta.
3. Pumpen är oftast placerad i framledningen efter växlaren. Men detta varierar.
4. Expantionskärlet är oftast placerat efter växlaren men innan pumpen men också detta varierer.

En stor skillnad mot Sverige är fortfarande är det många system med många shuntar, pumpar, strypventiler i systemen som ger problem. Man värdesätter inte en låg returtemperatur även om vi arbetar med saken och försöker få VVS-konsulter till att tänka på detta.

Som jag sa i början så har inte Fjernvarmeforeningen några tekniska rekommendationer men ta kontkt med mig så skall jag pröva att hjälpa dig.

Jag var ledare för Fjernvarmeföreningen i Norge mellan 1987 og 1996 og har efter det arbetat som konsulent inom fjärrvärm och bioenergi här i Norge.
I tillägg är jag F-77 från LTH så bara hör av dig.

MVH Mats Rosenberg

Enercon AS
Høgdaiveien 11
NO-1482 Nittedal
Tlf: +47 67 07 05 94
Fax: +47 67 07 51 06

**Viken Energi (Norge, telefonkontakt)
Per Jynge, 4/2-05**

Per känner bäst till de större anläggningarna.

Viken energi har inga rekommendationer då det gäller placering av cirkulationspumpen, men Jynge det vanliga är på returen. Normalt har Viken energi inte med pumpplaceringen att göra då de ej äger anläggningen.

Påfyllnad av anläggningar sker med tappvatten vanligtvis. I ett fåtal anläggningar där bolaget antingen äger eller ansvarar för driften på kundens anläggning fylls de med FJV-vatten.

Finns från vissa kunder önskemål om att köpa FJV-vatten, men det får de ej.

Anledningen till att de inte önskar fylla system med FJV-vatten är att de vill ha fjärrvärmenätet helt skilt från husinterna system eftersom tryck och temperatur är höga i FJV-nätet.

Rapport III

FJÄRRVÄRMELAST VID ELAVBROTT – AVRAPPORTERING

Patrick Ljunggren
Per-Olof Johansson



LUNDS UNIVERSITET

November 2007
Avdelningen för Energihushållning
Institutionen för Energivetenskaper
Lunds Tekniska Högskola
Lunds Universitet
www.vok.lth.se

© Patrick Ljunggren, Per-Olof Johansson 2007

ISRN LUTMDN/TMHP--07/3031--SE
ISSN 0282-1990

Lund 2007

SAMMANFATTNING

Följande rapport är en delrapport i projektet ”Fjärrvärme vid elavbrott”. Arbetet inleddes med en förstudie under 2006 och kommer att avslutas under 2008.

Det största hotet i händelse av ett elavbrott för kommunens invånare och ett antal verksamheter, som äldreboende och andra boendeformer, utgörs av att uppvärmningen slutar fungera vintertid. Syftet med projektet är att undersöka potentialen för värmeförsörjning för fjärrvärmeanslutna bostäder och kritiska verksamheter i kommunen i samband med ett totalt elbortfall. Detta sker genom att generella metoder utarbetas, som på ett enkelt sätt kan implementeras i alla kommuner med fjärrvärmeproduktion.

Genomförda fältförsök och datorsimuleringar visar att det generellt finns goda möjligheter att överföra värme från fjärrvärmenätet till anslutna värmesystem genom självcirkulation i händelse av ett långvarigt elavbrott. För de undersökta flerbostadshusen finns en potential på mellan 50 och 100 procent av den ursprungliga värmelasten. Skillnaden beror på byggnadens egenskaper, exempelvis utformningen av värmesystem och byggnadstyp. Simuleringar visar att det finns vissa möjligheter att öka förmågan för en byggnad att uppta värme genom att exempelvis höja fjärrvärmenätets framledningstemperatur. Då de grundläggande fysikaliska förutsättningarna för självcirkulation är oberoende av geografiskt läge är det möjligt att avgöra potentialen för självcirkulation för en godtycklig byggnad med godtyckligt läge.

Det fortsatta arbetet måste kompletteras med undersökningar om hur reglerventiler fungerar i händelse av ett elavbrott. Funktionen hos luftburen värme och ventilation kommer också att studeras vidare i det kommande arbetet.

För ett kraftvärmeverks funktion är det en grundläggande förutsättning att ha en fungerande kylning. I många fall fungerar fjärrvärmenätet som denna värmesänka. Vid ett omfattande elavbrott på stamnätet strävas det efter på många håll att möjliggöra lokal ö-drift av elnätet. För att kunna upprätta ö-drift av elnätet är ofta avkylningen för kraftvärmeverk avgörande, och därmed är det viktigt att fjärrvärmeanslutna kunder har möjlighet att ta emot värme.

Vi anser att det är fullt möjligt att genom det fortsatta arbetet kunna sammanställa rekommendationer till fastighetsägare och värmeleverantörer om hur ett värmesystems potential för att ta emot värme vid elavbrott kan förbättras samt ge rekommendationer för dimensionering och projektering av värmesystem i särskilt känsliga byggnadstyper.

Genom att avgöra i vilken utsträckning en byggnad kan erhålla värme genom självcirkulation vid ett elavbrott är det även möjligt att avgöra vilka typer av byggnader där förutsättningarna är små och där det därför kan vara aktuellt att installera ett litet reservkraftverk för att möjliggöra mottagande av värme. Projektet skall i slutändan ge generella råd, och vara ett underlag för risk- och sårbarhetsanalyser, såväl för Malmö stad som för andra kommuner.

INNEHÅLLSFÖRTECKNING

INLEDNING	1
SYFTE	1
BEGRÄNSNINGAR	1
ERKÄNNANDEN	2
INTRODUKTION TILL ÄMNET	3
VÄRME OCH SÄRBARHET	3
Ö-DRIFT	3
SJÄLVCIRKULATION	4
BYGGNADER	5
TIDIGARE ARBETE	7
SYSTEMTEKNIK	11
VÄRMECENTRAL	11
REGLERING	12
DISTRIBUTIONSSYSTEM	12
INJUSTERING	14
RADIATORER	14
HISTORISK ÅTERBLICK - SJÄLVCIRKULATION	14
LUFTBUREN VÄRME OCH SHUNTGRUPPER	15
FÄLTFÖRSÖK	17
MÄTTEKNIK/MÄTMETODIK	17
FLERBOSTADSHUS	18
ÄLDRE TVÅRÖRSSYSTEM – CEDERGATAN, STADIONGATAN OCH FRIDHEMSGATAN	18
STORA ETTRÖRSSYSTEM – LUGNA GATAN OCH DELSJÖGATAN	25
FORCERAD UPPVÄRMNING PÅ DELSJÖGATAN	30
SMÅHUS	32
LOKALER	35
SAMMANSTÄLLNING AV RESULTAT	37
SIMULERINGAR	39
MODELLEN	39
RESULTAT FRÅN SIMULERINGAR	42
AVSLUTANDE DISKUSSION OCH FORTSATTA STUDIER	49
REFERENSER	51
BILAGA A	55

NOMENKLATUR

Variabler

Δ	Differens
ρ	Densitet, kg/m ³
c_p	Värmekapacitet, J/kgK
g	Tyngdacceleration, 9,81 m/s ²
h	Drivhöjd, m
$\dot{m}$	Massflöde, kg/s
p	Tryck, Pa
$\dot{Q}$	Värmefflöde, kW
T	Temperatur, °C

Index

100%	Initialtillstånd
∞	Stationärt tillstånd
<i>exp</i>	Experimentell
<i>f</i>	Fram(ledning)
<i>FC</i>	Fjärrvärmecentral
<i>i</i>	Inomhus
<i>p</i>	Primärsida (fjärrvärmesida)
<i>r</i>	Retur(ledning), radiator-
<i>s</i>	Sekundärsida (radiatorsida)
<i>sim</i>	Simulerad
<i>själv</i>	Själv-cirkulation
<i>stam</i>	Stam-, stigarledning
<i>u</i>	Utomhus

INLEDNING

Följande rapport utgör avrapportering i projektet "Fjärrvärme vid elavbrott". Arbetet inleddes med en förstudie under 2006 och kommer att avslutas under 2008.

Ett projekt med namnet "Starta Malmö" syftar till att kunna försörja kommunen med el, genom så kallad ö-drift, från produktion inom området i samband med ett avbrott på stamnätet. En risk- och sårbarhetsanalys genomfördes i samband med "Starta Malmö" med totalt elavbrott som utgångspunkt. Analysen visade att det största hotet för de som vistas i kommunen, liksom för ett antal av organisationens verksamheter, som äldreboende och andra boendeformer, utgörs av att uppvärmningen slutar fungera vintertid.

Arbetet med att undersöka möjligheterna till att leverera fjärrvärme vid ett elavbrott påbörjades under 2006 i ett samarbete mellan E.ON Värme Sverige AB och Lunds Tekniska Högskola. Detta arbete utgör avrapportering i det huvudprojekt som syftar till att säkerställa en tillfredsställande robusthet i det centrala systemet för uppvärmning inomhus.

Malmö stad ser det som mycket angeläget, att minska riskerna i detta avseende. Vid ett långvarigt elbortfall vintertid, skulle det uppstå omfattande svårigheter att hantera situationen för kommuninvånarna, kommunala servicefunktioner, sjukvården, m.m.

Projektet är att se som ett pilotfall. Det resultat som huvudstudien ger vid handen är naturligtvis tänkt att kunna nyttjas av övriga kommuner, där produktion av fjärrvärme är möjlig under elavbrott.

SYFTE

Att finna lösningar, som i så stor utsträckning som möjligt, säkerställer värmetillförseln för bostäder och kritiska verksamheter i kommunen, i samband med ett totalt elbortfall.

Att ta fram generella metoder, som på ett enkelt sätt kan implementeras i alla kommuner med fjärrvärmeproduktion och som kan generera värme vid bortfall av el från stamnätet.

Att ta fram systematiska metoder för olika sätt att lösa situationer, där uppvärmning inte går att upprätthålla.

Att skapa underlag för risk- och sårbarhetsanalyser inom området, för Malmö stad och andra kommuner.

BEGRÄNSNINGAR

Studien är inriktad på fjärrvärme och hur denna teknik fungerar vid ett elavbrott. Någon analys av andra störningar vid ett elavbrott eller förekomsten av elavbrott studeras inte.

Arbetet fokuserar på kundsidan av fjärrvärmesystemet. Produktion och distribution av värme förutsätts kunna fungera med hjälp av reservkraft. En del ämnesområden som inte ingår i denna rapport kommer att ingå i slutrapporten såsom annan värmedistribution än radiatorsystem (luft-, golv- och takvärme).

ERKÄNNANDEN

Malmö stad har av Statens energimyndighet fått i uppdrag att genomföra ett utvecklingsprojekt av privat-offentlig samverkan (UPOS). Energimyndigheten är huvudfinansiär av projektet och Lunds Tekniska Högskola, Institutionen för Energivetenskaper, är utförare av arbetet. Övriga finansiärer och samarbetspartners är: Malmö stad, Stadsfastigheter, MKB Fastighet AB, E.ON Värme Sverige AB, Svensk Fjärrvärme AB och LTH.

Författarna vill tacka samtliga deltagare i projektgruppen samt projektledaren Lennart Lindsjö. Tack även till Harald Andersson på E.ON som initierade projektet.

Ett särskilt tack till all driftspersonal, bovärdar, fastighetsskötare och övrig verksamhetspersonal som gjort det möjligt för oss att genomföra praktiska försök.

INTRODUKTION TILL ÄMNET

Att värma byggnader för att få en acceptabel inomhustemperatur är nödvändigt på de allra flesta platser i världen, i synnerhet i Sverige. Detta är något som de flesta av oss tar för givet, men ibland blir vi påmind om hur beroende vi är av att våra energisystem fungerar. Konsekvenserna av stormen Gudrun i början av 2005 var omfattande för stora delar av samhället. Dock var väderleken relativt mild och konsekvenserna för uppvärmningen var måttliga. Samtidigt belyste detta elberoendet i vårt samhälle, inte minst hos våra uppvärmningssystem. Det är inte bara elvärme som är beroende av el utan så gott som samtliga uppvärmningssystem använder el på något vis: till pumpdrift, reglerutrustning och brännaraggregat.

VÄRME OCH SÅRBARHET

Ett projekt med namnet ”Starta Malmö” syftar till att kunna försörja kommunen med el, genom så kallad ö-drift, från produktion inom området i samband med ett avbrott på stamnätet. En risk- och sårbarhetsanalys genomfördes i samband med ”Starta Malmö” med totalt elavbrott som utgångspunkt. Analysen visade att det största hotet för de som vistas i kommunen, liksom för ett antal av organisationens verksamheter, som äldreboende och andra boendeformer, utgörs av att uppvärmningen vintertid slutar fungera [36]. På vissa platser i Malmö finns stationär reservkraft, exempelvis i Stadshuset, Universitetssjukhuset MAS och i pumpstationer för vatten och avlopp. Det finns även mobila elverk som är avsedda för bland annat vårdboenden och IT-drift. Just inom vård och omsorg anses värmen utgöra ett stort problem. Vid ett avbrott avser man att inledningsvis förtäta boenden men vårdtagare befaras ganska omgående att behöva flyttas till alternativa boenden. För skol- och förskoleverksamheter gäller att dessa stänger ganska omgående, speciellt vintertid.

Ett flertal tidigare arbeten belyser problemen med uppvärmning av byggnader vid ett elavbrott, vilket kommer att behandlas i nästa kapitel.

Ö-DRIFT

Möjligheten till att leverera fjärrvärme vid ett elavbrott beror på ett flertal faktorer. För det första måste fjärrvärmebolaget kunna upprätthålla värmeproduktionen och differenstrycket i nätet, det vill säga fjärrvärmevattnet måste kunna pumpas runt. I regel går detta att uppfylla, om inte annat för att kunna skydda nätet mot förfrysning. E.ON har i Malmö reservkraft för att kunna upprätthålla både produktion och distribution. Problemet är istället huruvida man kan ”bli av” med värmen i nätet. Två av de större anläggningarna som levererar värme till fjärrvärmenätet, Sysav och Heleneholmsverket, är kraftvärmeverk, det vill säga anläggningar som producerar både el och värme. Vissa kraftvärmeverk kan vara konstruerade för att kunna drivas som ett kondenskraftverk, alltså endast för elproduktion, genom att kyla bort spillvärmen, till exempel i havet eller i ett kyltorn. På Sysav och Heleneholmsverket finns

emellertid inte denna möjlighet, utan elproduktionen är helt beroende av att fjärrvärmenätet är tillgängligt som värmesänka. Vid ett större elavbrott är det önskvärt att kunna fortsätta driften av anläggningarna genom så kallad ö-drift. Genom ö-drift kan lokala produktionsanläggningar utnyttjas vilket kan vara mycket värdefullt vid ett omfattande elavbrott. På så sätt kan ett mindre elnät upprättas, avskilt från stamnätet. Vid ett nationellt sammanbrott utgör ö-drift en viktig del för återstarten av stamnätet. Upprättandet av ö-drift ställer emellertid stora krav på kraftverk beträffande frekvenshållning och möjlighet till start mot spänningslöst nät. Svenska Kraftnät bedriver arbete för att öka antalet platser i Sverige med möjlighet till ö-drift. 1998 fick dåvarande Sydkraft i uppdrag av Svenska Kraftnät att utreda förutsättningarna för att etablera ö-nätsdrift i Malmö [35]. Det konstaterades att det är genomförbart att driva Malmö som ett ö-nät. En viktig faktor för att lyckas är dock att det finns avsättning av spillvärmen till fjärrvärmenätet vid den aktuella tidpunkten.

Om kunder har tillgång till el genom ö-drift kan det kanske tyckas märkligt att studera vad som händer i kundanläggningarna om elleveransen uteblir. Ö-drift innebär dock i de flesta fall en begränsad tillgång till el och att tillgänglig el kanske måste riktas till särskilt känsliga verksamheter. Den begränsade tillgången beror på att typiska områden för ö-drift är storstadsregioner. Även om det ofta finns viss elproduktion i dessa områden så är den allra mesta elproduktionen lokaliserad till mindre befolkade områden, exempelvis vattenkraften i norra Sverige och kärnkraften i några mindre kustorter.

SJÄLVCIRKULATION

En förutsättning för att kunna leverera fjärrvärme vid ett elavbrott, förutom att kunna upprätthålla differenstrycket i nätet, är att de anslutna byggnaderna kan ta emot värmen. Vattnet som strömmar i en byggnads radiatorkrets värms i fjärrvärmecentralens värmeväxlare. Primärventilen som reglerar fjärrvärmeflödet till värmeväxlaren påverkas av ett elmotor drivet ställdon. Om elförsörjningen till ställdonet försvinner stannar det i sitt läge eller stänger. En stängd reglerventil förhindrar helt att värme överförs till kunden, men en ventil som stannar i sitt läge medger att samma primärflöde fortsätter att passera värmeväxlaren (förutsatt att inte differenstrycket i fjärrvärmenätet förändras).

Om vi förutsätter att vi har primärflöde genom värmeväxlaren, kan då värme överföras till vattnet i radiatorkretsen? Vattnet cirkulerar med hjälp av den uppforderingshöjd som cirkulationspumpen ger. Vid ett elavbrott kommer pumpen naturligtvis att sluta fungera och den allmänna uppfattningen har hittills varit att även cirkulationen då kommer att upphöra. Det finns emellertid förutsättningar för att få ett visst flöde på grund av självcirkulation. Drivkraften för självcirkulation är densitetsskillnaden mellan varmare och kallare vatten. Om fjärrvärmevatten flödar genom värmeväxlaren så värms denna upp och den utgående radiatorframledningstemperaturen kommer att bli mycket hög. Hur stor självcirkulationen kan bli beror bland annat på densitetsskillnaden och hur stort friktionsmotståndet är i systemet. I mycket gamla system bör möjligheterna vara goda då de är dimensionerade för självcirkulation. Sedan pumpar började användas i uppvärmningssystem har dock rördimensionerna minskat kraftigt, vilket ger större friktionsmotstånd och därmed sämre förutsättningar. Dessutom innebär värmeväxlare, i synnerhet plattvärmeväxlare, större friktionsmotstånd än en traditionell panna.

BYGGNADER

De byggnadstyper som studerats i arbetet inkluderar både flerbostadshus, småhus samt lokaler.

Stadsbilden i Malmö präglas, i likhet med andra större tätorter, av flerbostadshus. Förutom att husen utgör bostad åt många människor så är 86 procent av de svenska flerbostadshusen anslutna till fjärrvärme [29]. Typiskt för flerbostadshus är att en försörjningspunkt förser många bostäder med värme. Samtidigt saknas i regel möjlighet till alternativ uppvärmning vilket bland annat beror på att en utebliven värmeleverans (oberoende av anledning) blir kritisk först efter ungefär ett dygn tack vare värmeackumulering i byggnaden. Å andra sidan är det i sådan situation svårt att erbjuda boende hjälp, både i form av reservvärme och av evakuering.

Kategorin lokaler innefattar många olika byggnadstyper. Ungefär 70 procent av dessa värms upp med fjärrvärme [29]. Karakteristiskt för lokaler är att de inte används som bostäder och att installationerna ofta skiljer sig från bostadshusens. Andelen radiatorlast är i regel något lägre till förmån för luftburen värme, det vill säga uppvärmning via ventilationssystemet. Ofta förekommer också kylning av inomhusluften.

Det kan vara av stor betydelse hur vissa typer av lokalbyggnader fungerar vid ett större elavbrott. Skolor är ett exempel på lokaler som kan tas i bruk som värmestuga vid eventuella evakueringar. I andra typer av lokaler, som kontorsbyggnader och industrilokaler, kanske viss verksamhet kan upprätthållas, även om det troligtvis är svårt utan elektricitet. Med tanke på risken för frysskador på byggnader och deras installationer vid ett längre elavbrott är det av intresse att viss uppvärmning fungerar.

Fjärrvärme har en mindre marknadsandel bland småhusen, ungefär 10 procent [29]. Likväl är detta en intressant kategori att studera eftersom småhusen är utsatta vid ett längre elavbrott. Även här saknas i regel alternativ uppvärmning och utkylningsförloppen går snabbare än i flerbostadshus (på grund av lättare huskonstruktioner).

TIDIGARE ARBETE

Det finns relativt mycket litteratur om olika frågeställningar runt leveranssäkerhet av energi och sårbarhet. Det mesta behandlar dock elektricitet, medan det finns mindre att hämta om värme, även om ämnet genererat en del skrifter, främst på senare år. Ett genomgående problem är hanteringen av frågan om vad som händer i fjärrvärmeanslutna värmesystem vid ett elavbrott. Enstaka författare har lyft frågan om självcirkulation i värmesystemen, och att detta borde undersökas, medan de flesta nöjer sig med att konstatera att värmen inte kommer att fungera utan el.

Det senaste, mest omfattande och mest relevanta arbetet utkom i år, 2007, och heter *Säkrare Värmeförsörjning! Tillstånd, Förbättringsmöjligheter, Beredskapsåtgärder* [1]. Rapporten har sammanställts av Svenska värmeverkens ekonomiska förening (Värmek) på uppdrag av Energimyndigheten. Till exempel behandlas ämnen som ansvarsfördelning, vad som är acceptabla temperaturstörningar inomhus och för byggnader, utkylningsförlopp för byggnader, reservkraft och reservvärme. I rapporten refereras även till vår förstudie [18] och konstateras att frågan om självcirkulation bör utredas vidare. I det kommande arbetet med vårt projekt kommer det att finnas referenser till *Säkrare värmeförsörjning!* då rapporten innehåller många relevanta delar.

I ett tidigare arbete sammanställt av Värmek på uppdrag av Energimyndigheten av samma författare, *Sårbarhet hos fjärrvärmeförsörjning med tonvikt på känslighet för elavbrott* [4], beskrivs situationen i Stockholm med flera olika fjärrvärmenät och en stor blandning av produktionsanläggningar. Det finns bland annat ett avsnitt som resonerar kring potentialen för självcirkulation, med slutsatsen att det bör finnas möjlighet till viss självcirkulation som, genom att stänga av delar av radiatorsystemet, kan värma delar av en byggnad. Dock understryks vikten av att göra praktiska försök.

Om man söker sig bakåt i tiden så hittar man två utredningar, *Säker elförsörjning* SOU 1984:69 [27] och *Hot- och riskutredningen* SOU 1995:19 [28], som behandlar sårbarhet i energisystemet. Dåvarande Statens energiverk genomförde 1989-90 projektet *Värmeförsörjning i kristid, VIK*, [30] som behandlar kommunal beredskapsplanering. Efter *Hot- och riskutredningen* fick Nutek i uppdrag att fördjupa analysen med fokus på fjärrvärmesystem. Rapporten, med namnet *Värmeförsörjning vid långvariga elavbrott* [2], utkom 1998 och innehåller bland annat en enkätundersökning utförd hos svenska fjärrvärmebolag. Även om undersökningen inte är helt färsk längre märks ändå några intressanta resultat. Undersökningen visar att enbart 2 av 75 svarande företag kan leverera värme och att abonnenterna kan ta emot värme. Hälften svarade att de inte klarar ett tre dygn långt elavbrott utan frysskador på byggnader. Däremot finns reservel och värmeproduktion för att klara det egna distributionssystemet från förfrysning vid 80 procent av anläggningarna och 40 procent anser att en viss mängd värme kan levereras vid ett

långvarigt elavbrott. Vidare behandlar rapporten frågor kring acceptabla temperaturnivåer, utkylning av fastigheter, hur värmeförsörjning kan prioriteras vid begränsad tillgång på el samt reservkraft – organisatoriska, tekniska och ekonomiska aspekter.

I propositionen *Förändrad omvärld – omdanad försvar* (prop 1998/99:74) [24] uppmanades Energimyndigheten att arbeta för att stödja kommunerna i deras planering för krisförsörjning samt att göra en översyn av beredskapen i kommunerna att upprätthålla livsnödvändig värmeförsörjning. 2001 utkom så *Kommunernas värmeberedskap. Förberedelser och lösningar för värmeförsörjning i kris* [3] som bland annat innehåller en lägesbeskrivning i kommunerna avseende värmeförsörjning. 226 kommuner deltog i en enkätundersökning. Resultaten visade att ungefär hälften har någon form av åtgärdsplan att följa vid ett långvarigt elavbrott och två tredjedelar har genomfört en riskanalys eller beredskapsplan där värmeförsörjningen ingår. Tre fjärdedelar kan med reservkraft upprätthålla hela eller delar av sin värmeproduktion. I 189 kommuner (84 procent av de tillfrågade) har fastigheter med prioriterade verksamheter, där värmeförsörjning är nödvändig vid ett längre elavbrott, identifierats. I övrigt innehåller rapporten en uppsamling av det som skrivits tidigare. Bland annat påpekas att radiatorsystem för några decennier sedan utformades för självcirkulation men att detta numera förhindras genom generellt klenare dimensioner och kraftig ventilstrypning. Det konstateras att för att kunna leverera fjärrvärme krävs elförsörjning till cirkulationspump och helst även till styr- och reglercentral.

Länsstyrelsen i Stockholms län har gett ut en promemoria som heter *Säkerheten i Stockholms läns Fjärrvärmenät* [20]. Den beskriver ett pågående arbete. Enkät svar från länets fjärrvärmeföretag ligger till grund för rapporten. En, för denna studie, viktig avgränsning i undersökningen är att den endast avser produktion och distribution av fjärrvärme. Den redovisar inte hur värme tas emot och hanteras av kunden. Däremot påpekas att det är ett grundläggande villkor för att kunna ta emot fjärrvärme att cirkulationspumpar och styr- och reglerutrustning har elförsörjning.

I spåren av stormen Gudrun har det kommit ut ett flertal rapporter från Energimyndigheten. I *Stormen Gudrun och uppvärmningen* [5] diskuteras erfarenheter från elavbrott med inriktning på uppvärmning av byggnader. Även denna rapport påpekar att det finns goda skäl att undersöka självcirkulation genom praktiska försök. Generellt hade man inga problem med fjärrvärmen i samband med Gudrun eftersom nästan alla större orter i de drabbade områdena inte hade några längre elavbrott. Dock lyfts fram att man har erfarenheter från ett elavbrott i Kista som visade att självcirkulationen blev större än vad man trodde var möjligt i hus med moderna radiatorsystem med klena rördimensioner. Hos Växjö Energi AB kunde man i samband med Gudrun notera tecken på viss självcirkulation i ett närvärmesystem [34]. Krisberedskapsmyndigheten har också gett ut en rapport efter Gudrun, *Krishantering i stormens spår* [16], som bland annat pekar på problemen med att fördela tillgänglig reservkraft och bristen på en ansvarig aktör för detta.

Det kanske mest kända fallet av ett långvarigt elavbrott vid kall väderlek är den isstorm som drabbade östra Kanada i januari 1998. Två rapporter behandlar denna händelse, dels Socialstyrelsens *Isstormen i östra Kanada januari 1998* [26], dels FOI:s (Totalförsvarets forskningsinstitut) *Isstormen i Kanada* [10]. Flera dagar av underkyllt regn orsakade kraftig nedisning och efter fem dagar var tre miljoner människor utan elektricitet. Ytterligare fem dagar senare hade de flesta fått strömmen tillbaka men en halv miljon människor var utan el i

två veckor under extrem kyla. I regionen finns inga fjärrvärmesystem utan uppvärmningen sker i huvudsak med olja och el. Elavbrottet tvingade fram omfattande evakueringar. De flesta människor kunde flytta samman med vänner och släktingar men många fick ta sig till olika uppsamlingscentrum. Undersökningar har visat att människor upplevde att den största påfrestningen utgjordes av försöken att hålla värmen.

FOI:s rapport *Acceptabla elavbrott? Fyra strategier för säker elförsörjning* [11] handlar främst om elförsörjning och reservkraft medan fjärrvärme inte behandlas alls. Däremot har gränser satts upp för vad som är acceptabla störningstider för samhällsviktiga verksamheter. För exempelvis vård och omsorg har gränsen satts till sex timmar och för värme till hushåll till 24 timmar.

Energimyndighetens HEL-projekt genomfördes under åren 2001-2004 med syfte att skapa en grund för planering och genomförande av säkerhets- och beredskapsåtgärder i samband med störningar i elförsörjningen. Projektet har genererat en mängd rapporter, här refereras till slutrapporten *Helhetssyn för Elförsörjningens säkerhet och beredskap (HEL-projektet)* [9]. Pilotprojekt genomfördes i kommunerna Karlskrona, Stenungsund, Eskilstuna och Huddinge. Arbetet syftade till att hitta former för lokal samverkan mellan myndigheter, elföretag och användare. Även om projektet avslutades 2004 så fortsätter arbetet inom ett antal områden, bland annat genom Utveckling av privat-offentlig samverkan på lokal/regional nivå (UPOS) där föreliggande arbete ingår.

Bland andra arbeten som berör fjärrvärme vid elavbrott märks exempelvis *Kunskapsläget inom småskalig kraftvärmeproduktion och eloberoende värmesystem* [6], utgiven av Energimyndigheten. Beträffande fjärrvärme konstateras att det stora problemet ligger hos mottagande fastigheter vars distributionssystem inte fungerar med självcirkulation. Detta konstateras även i *Hur trygg är vår energiförsörjning?* [7] från Energimyndigheten som också understryker den påfrestning på samhället som ett långvarigt avbrott i värmeleveranser skulle innebära på grund av evakueringar och sönderfrysta vattenledningar. En annan rapport från Energimyndigheten är *Fjärrvärme vid ö-drift* [8], som kom ut i år, 2007. Den behandlar problemen med att elproduktionen vid ö-drift normalt inte kan täcka behovet både hos prioriterade samhällsfunktioner och i bostäder. I rapporten behandlas möjligheter och svårigheter med att nyttja fjärrvärmenätet vid ö-drift. Förslag ges för hur el- och fjärrvärmesystemet ska koordineras och organiseras. På flera platser i rapporten återkommer frågan om kunders möjligheter att ta emot värme beroende på eventuell självcirkulation. Dock ges olika budskap, dels hävdas att kunderna inte kan ta emot värme utan el, dels anges att en mycket begränsad mängd värme kan tas emot. Till vår förstudie refereras också, dessvärre har man dragit slutsatsen att självcirkulation till viss del fungerar i äldre hus men knappast i nyare (endast ett objekt byggt senare än 1960 redovisades dock i förstudien).

Avslutningsvis hänvisas till två, i skrivande stund, färskta skrivelser. Dels Krisberedskapsmyndighetens årliga bedömning av samhällets samlade förmåga att hantera allvarliga kriser, *Samhällets krisberedskap Förmåga 2006/2007* [17]. Där står att läsa: "KBM bedömer att det finns allvarliga brister i samhällets förmåga att hantera konsekvenserna av långvariga elavbrott." Riksrevisionen har presenterat en granskning som heter *Statens insatser för att hantera omfattande elavbrott* [25]. Denna granskning, som uppmärksammades i SVT:s Rapport den 9 oktober, konstaterar bland annat att "Det finns brister i myndigheternas risk- och sårbarhetsanalyser på området" samt "Värme- och livsmedelsförsörjningen kan bland

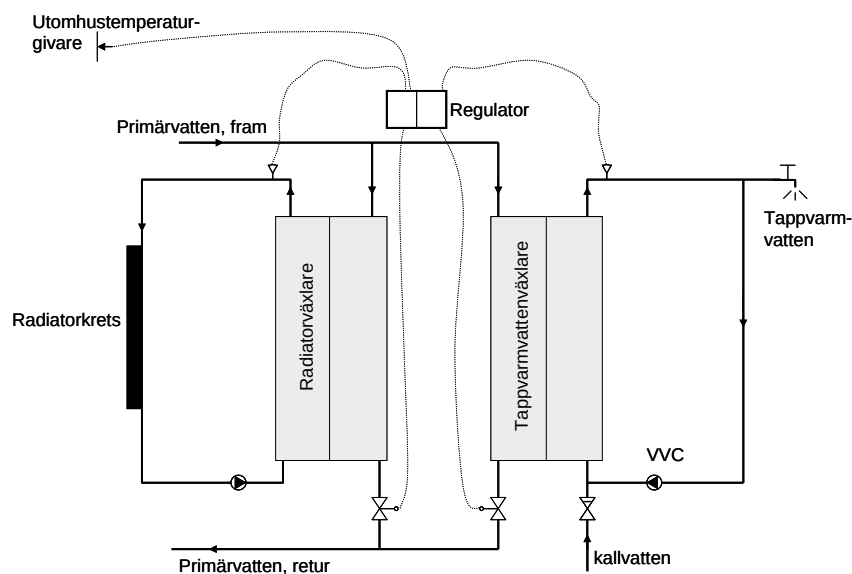
annat på grund av kyla snabbt komma att bli kritiska faktorer [...]. Fastigheter [...] riskerar att få bestående skador som kan medföra stora ekonomiska konsekvenser, givet att snabba åtgärder inte kan sättas in”.

Det gemensamma för alla radiatorsystem är att värme distribueras från en central punkt, värmecentral, och distribueras genom ett rörsystem med vatten som värmebärare. Som värmeavgivare används radiatorer, se Figur 1 nedan.



I värmecentralen sker beredning av dels tappvarmvatten och dels varmvatten för distribution till värmeavgivarna, i detta fall radiatorer. Värmeberedningen kan ske på ett flertal sätt, här beskrivs uppbyggnaden av en värmecentral som levererar värme med hjälp av fjärrvärme. I det fallet benämns värmecentralen fjärrvärmecentral. Fjärrvärme är i Sverige det dominerande uppvärmningssättet med 50 procent av den totala värmemarknaden (för flerbostadshus är andelen 86 procent och för lokaler 70 procent medan den är 10 procent av för småhus) [29].

11



Figur 2 Principiell uppbyggnad av en fjärrvärmecentral.

Då utomhustemperaturen varierar förändras även fastighetens värmebehov. Detta regleras genom att temperaturen till sekundärsystemet förändras genom att variera flödet av primärvatten.

Reglering

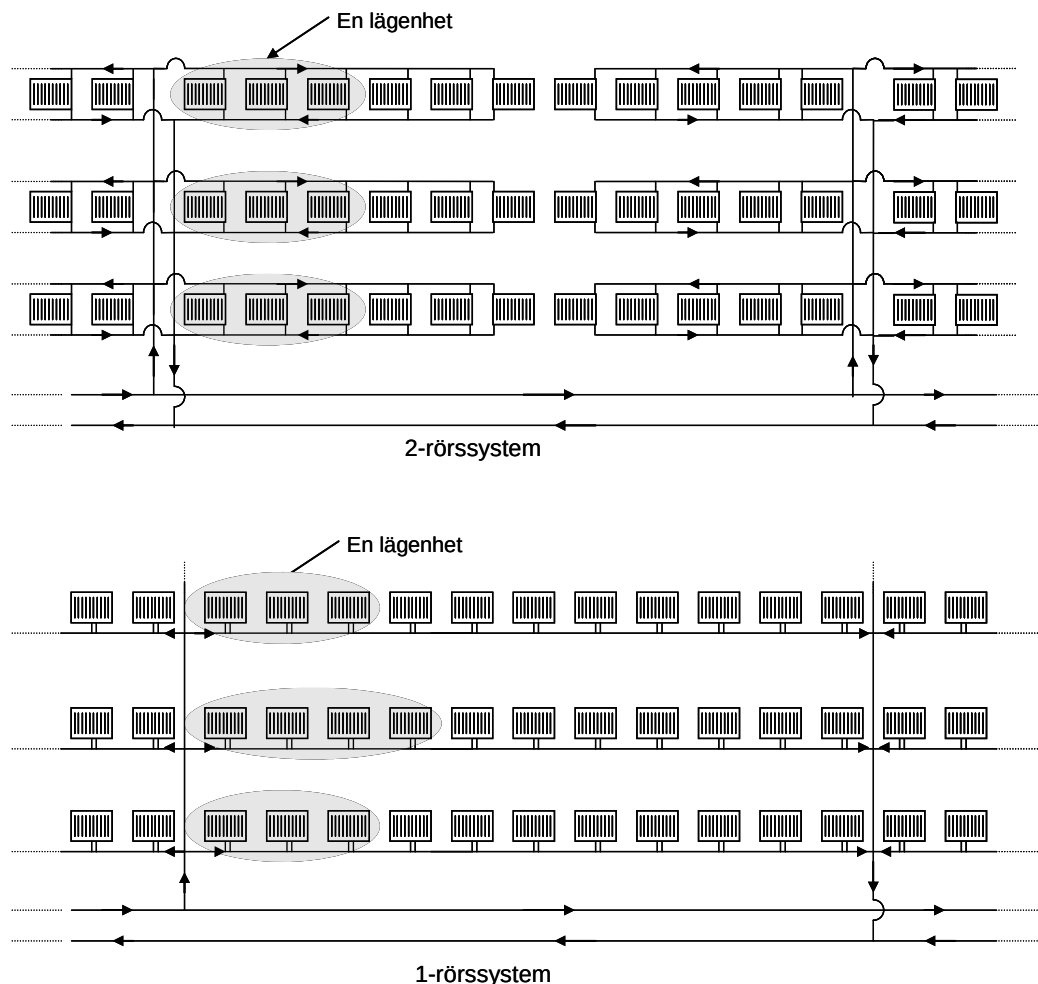
Genom att reglera primärflödet till värmeväxlaren regleras temperaturen på radiatorvattnet. Regleringen sker genom att utomhustemperaturen mäts, varvid ett temperaturprogram anger vilken sekundär framledningstemperatur som ska gälla. Regleringen av primärflödet till radiatorvärmeväxlaren sker med en motordriven ventil. Både ventilen och regulatorn som styr ventilen är således beroende av elektricitet för att fungera korrekt. Vad som händer vid avsaknad av ström beror på ventils konstruktion. För reglerventiler gäller att de antingen stannar i aktuell position, eller att de har så kallad fjäderåtergång, det vill säga att ventilen antingen stänger eller öppnar vid spänningsbortfall. Fältförsök visar att både ventiler som stänger vid elavbrott och ventiler som stannar i aktuell position förekommer. Kontakter med tillverkare visar dock att fjäderåtergång i princip aldrig används i radiatorkretsar då dessa ventiler är dyrare medan stängande fjäderåtergång ibland används för tappvarmvattenkretsar för att förhindra risken för skällning [31], [32], [33] och [37]. Då detta inte stämmer överens med erfarenheter från fältförsök måste ventiler och dess ställning undersökas närmare i det fortsatta arbetet.

DISTRIBUTIONSSYSTEM

För att distribuera värmen från värmecentralen till hela byggnaden finns ett rörsystem med en framledning med varmt sekundärvatten, och en returledning med avsalnat vatten. För att värmen skall distribueras i värmesystemet finns en cirkulationspump, som cirkulerar runt vattnet till alla delar av rörsystemet. I regel är pumpar nu för tiden utrustade med varvvalsreglering, vilket innebär att pumpen ger samma differenstryck (uppfordringshöjd)

oavsett motståndet i systemet. Detta innebär i sin tur bättre reglerförhållanden i systemet samt att driften av pumpen blir mer energieffektiv.

I princip finns det två huvudtyper av distributionssystem i Sverige: 1-rörssystem och 2-rörssystem, se Figur 3.



Figur 3 Radiatorsystem av tvårörs- respektive ettrörstyp.

Skillnaden mellan två- och ettrörssystem består främst av att i ettrörssystemet är grupper av radiatorer seriekopplade till skillnad från tvårörssystemet där samtliga radiatorer är parallellkopplade. Att radiatorerna är seriekopplade innebär att radiatorer som ligger närmare värmecentralen har högre temperatur på framledningen än de som ligger längre bort. Då radiatorerna är seriekopplade uppstår även betydligt större tryckfall i systemet. De flesta ettrörssystem byggdes under 1960- och 1970-talet. Vid denna tid blev det också vanligare med snålt dimensionerade radiatorsystem där rörledningar har relativt små diametrar vilket också bidrar till större tryckfall. Ett ökat tryckfall leder till att en högre uppfodringshöjd (differenstryck) på pumpen behövs. Observera att tryckfallet som uppstår i systemet har ett kvadratisk beroende av flödet.

Idag är det sällsynt att flerbostadshus byggs med ettrörssystem, medan det förekommer i viss mån bland småhus. Det finns ingen klar statistik över hur vanliga ettrörssystem är, men enligt Petersson m fl [23] är andelen i SABO:s bestånd (Sveriges Allmännyttiga Bostadsföretag, med 1,4 miljoner hyresgäster [38]) ungefär 13 procent.

Injustering

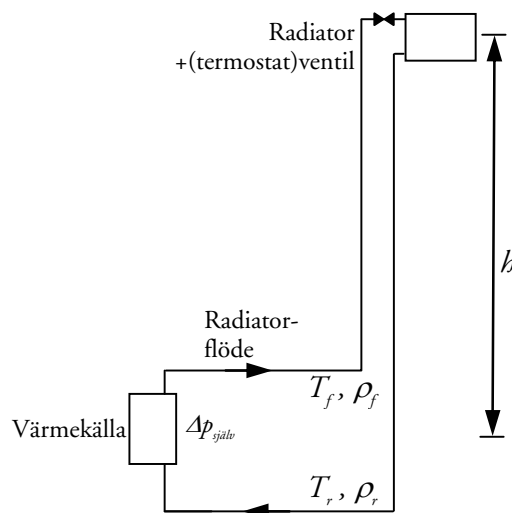
Det tillgängliga differenstrycket varierar i systemet med avståndet från cirkulationspumpen, och är lägst längst bort från pumpen. För att värmen skall distribueras jämt i fastigheten måste injusteringsventiler finnas på stigarna för att varje stigare ska få rätt flöde.

Radiatorer

Slutligen överförs värmen från värmecentralen till byggnaden genom radiatorerna. För att rätt mängd värme ska avges, vid given framledningstemperatur, regleras flödet till radiatorerna. Regleringen sker antingen genom en fast injustering, eller genom termostatventiler, som känner av rumstemperaturen och ökar eller minskar flödet genom radiatorn efter behov.

HISTORISK ÅTERBLICK - SJÄLVCIRKULATION

Som tidigare nämnts använd idag en cirkulationspump för att cirkulera radiatorvattnet. De radiatorsystem som byggdes i centraluppvärmningens barndom var uppbyggda av i princip samma komponenter som idag, förutom avsaknaden av cirkulationspump. Radiatorsystemen var konstruerade för att distribuera radiatorvattnet med självcirkulation, ett fysikaliskt fenomen som uppstår tack vare vattnets densitetsförändring vid olika temperaturnivåer. Då vattnet värms upp ökar dess volym vilket innebär att densiteten minskar varvid vattnet stiger uppåt i systemet. När sedan vattnet svalnat i radiatorn minskar dess volym och densiteten ökar och vattnet sjunker, se Figur 4.



Figur 4 Principen för självcirkulation i en fjärrvärmeansluten byggnad.

Drivkraften som uppstår vid självcirkulation är proportionell mot densitetsskillnaden och mot drivhöjden i systemet, se ekvation (1).

$$\Delta p_{sj\ddot{a}lv} = (\rho_r - \rho_f) \cdot g \cdot h \quad (1)$$

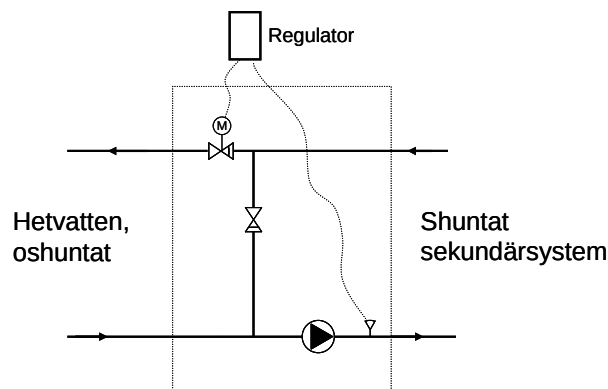
Genom att ha grova rördimensioner på distributionssystemet, och en värmepanna med lågt strömningsmotstånd, kunde tryckfallen hållas låga i radiatorsystemet. På så sätt erhöles tillräckligt hög cirkulation med hjälp av självcirkulation. För den som vill läsa mer om gamla och nya radiatorsystem hänvisas till exempelvis [21] och [14].

LUFTBUREN VÄRME OCH SHUNTGRUPPER

Som nämndes i inledningen kommer andra distributionssystem, såsom golv-, tak- och luftvärme att hanteras i kommande arbete. Ett kort stycke om luftburen värme följer dock här för att ge förståelse till ett av de försöksobjekt som ingått i studien hittills.

I samtliga bostadshus som hittills studerats förekommer antingen självdragsventilation eller frånluftsventilation. Det innebär att fjärrvärme inte används för att värma upp tilluften. Detta är den vanligaste typen av ventilation i bostadshus, även om tilluftsventilation förekommer. I lokalbyggnader är tilluftsventilation desto vanligare. Till skillnad från självdrag och frånluft, där tilluft sugas in genom tilluftsdon och otätheter i husväggarna, har man med tilluftsventilation ett kanalsystem för tilluften. Tilluftssystemet medger att luften kan förbehandlas. Det är till exempel vanligt att man har en värmeväxlare som återvinner en del av värmen i frånluften genom att denna förvärmer tilluften. Utöver värmeåtervinningen behöver tilluften ofta värmas ytterligare, vilket sker i ett luftbatteri där luften värmes mot varmt vatten.

Ett luftbatteri kan vara anslutet till en separat ventilationskrets eller till en så kallad hetvattenkrets tillsammans med ett eller flera luftbatterier och radiatorkretsar. I det sistnämnda fallet används en så kallad shuntgrupp för att ansluta ett luftbatteri eller en radiatorkrets till hetvattenkretsen. Shuntgruppen, som bland annat består av en reglerventil och pump, medger att den anslutna kretsen kan arbeta med andra temperaturer och flöden än huvudkretsen, se Figur 5.



Figur 5 Exempel på shuntgrupp med tvåvägsventil.

Det finns olika kopplingsprinciper för shuntgrupper, ventilationsaggregat och deras reglering. Dessa, liksom deras funktion vid elavbrott, kommer att behandlas i det kommande arbetet.

FÄLTFÖRSÖK

I det här kapitlet redovisas resultaten från de elavbrottsförsök som har genomförts i olika typer av byggnader.

MÄTTEKNIK/MÄTMETODIK

Vid samtliga fältförsök (förutom i Karlshamn) gjordes temperaturmätningar i fjärrvärmecentralen med utanpåliggande temperaturgivare av typen Pt100. Dessa anslöts till en datalogger av typen PC2100 från INTAB. Byggnaden i Karlshamn ingår i ett annat projekt och var redan utrustad med temperaturgivare och flödesmätare. För flödesmätning i övriga objekt användes fjärrvärmecentralens debiteringsmätare för att läsa av fjärrvärmeflödet till radiatorkretsen genom att tillfälligt stänga primärventilen till tappvarmvattenberedningen. Radiatorflödet kan på så sätt beräknas genom en energibalans för radiatorvärmeväxlaren enligt sambandet:

$$\dot{Q}_r = \dot{m}_p \cdot c_p (T_{p,f} - T_{p,r}) = \dot{m}_s \cdot c_p (T_{s,f} - T_{s,r}) \Rightarrow \dot{m}_s, \dot{Q}_r \quad (2)$$

I vissa objekt har kompletterande mätningar gjorts i radiatorsystemet. Dessa har gjorts med termoelement av typen T och K anslutna till en PC2100-logger eller med filmburksloggrar av typen Tinytag. I viss mån har även en clamp-onultraljudsmätare använts för direkt mätning av radiatorflödet. Detta visade sig dock vara svårt då flödena vid självциркуlation blir mycket små och flödestemperaturen förändras kraftigt.

Samtliga försök följde ett på förhand bestämt schema som är beskrivet i Bilaga A. Kort kan det beskrivas som: montering av temperaturgivare på primär- och sekundärsidan av radiatorväxlaren, låsning av regleringen av primärflöde till radiatorväxlaren, bestämning av primär och sekundärflöde genom radiatorväxlaren. Därefter följer själva elavbrottet som simuleras genom att regleringen av radiatorväxlaren låses i aktuell position och strömmen till cirkulationspumpen stängs av. Avbrottet avslutas sedan efter antingen att stabila temperaturförhållanden råder, att ingen självциркуlation uppstår eller att det finns risk för olägenhet för boende eller verksamhet i testobjektet.

Vid den här typen av mätexperiment är det oundvikligt med vissa felkällor och begränsningar. Exempel på sådana, och deras konsekvenser, är:

- Utanpåliggande temperaturmätning. En viss tidskonstant införs samt eventuellt ett mätfel orsakat av bristfälligt isolering av givaren.
- Primärflödet mäts inte kontinuerligt (då flödesmätare visat sig besvärligt att installera på primärsidan) utan avläses manuellt och antecknas med jämna mellanrum. Korta variationer av primärflödet kan bli förbisedda.
- Antalet mätpunkter på sekundärsidan (i radiatorsystemet samt inomhustemperatur) är mer eller mindre begränsat på grund av tillgänglighet och att arbetet är tidskrävande.

Sammanfattningsvis kan man dock slå fast att mätnoggrannheten är tillfredsställande för försökens ändamål. Vi vill uppskatta hur stor självcirkulation som kan uppstå i olika byggnader och systemtyper och få en uppfattning om hur värmen sprider sig i systemen. De eventuella mätfel som kan orsakas av ovanstående felkällor får betraktas som fullt acceptabla.

FLERBOSTADSHUS

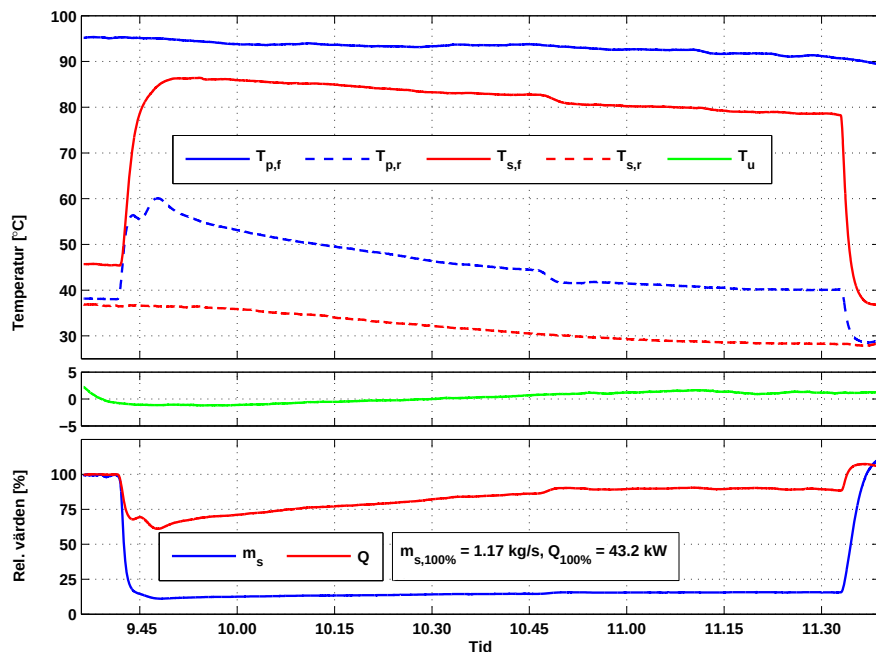
Fem flerbostadshus har studerats, alla med olika egenskaper ifråga om ålder, systemtyp, storlek etc. Först redovisas de tre äldre husen som uppvisar vissa likheter, därefter två större och något nyare byggnader.

Äldre tvårörssystem – Cedergatan, Stadiogatan och Fridhemsgatan

Cedergatan

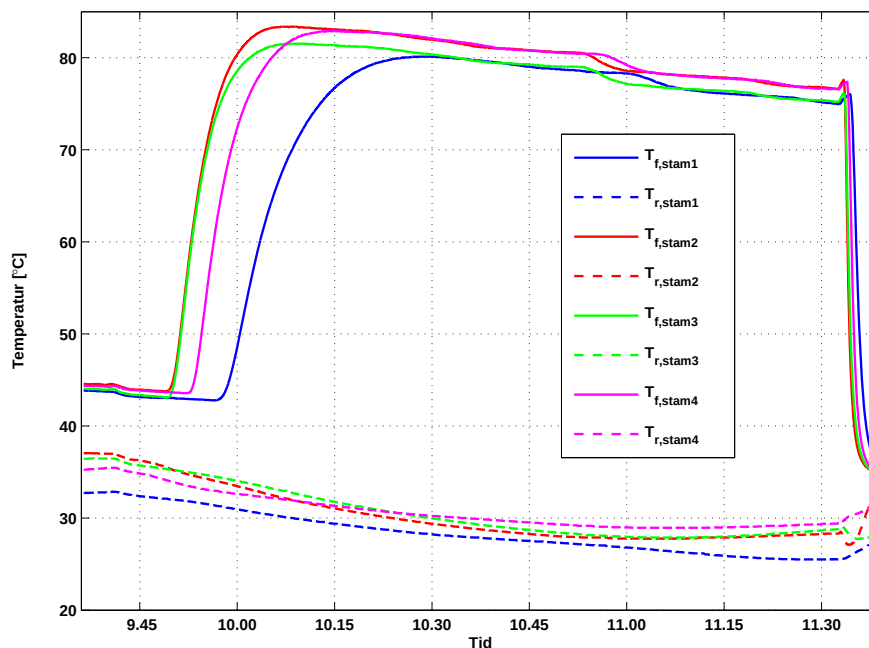
Det första huset som testades är ett flerbostadshus från 1952 med 20 lägenheter, beläget på Cedergatan i Malmö. Huset har tre våningar plus lägenheter på vindsvåningen. Radiatorsystemet är ett så kallat tvårörssystem. Fjärrvärmegruppen vid LTH har tidigare använt huset som mätobjekt för studier av bland annat val av kopplingsprincip i fjärrvärmecentralen och nattsänkning.

I Figur 6 visas resultatet från ett avbrottsförsök som genomfördes den 14 mars 2006. Strax före kl. 9.45 infaller ”elavbrottet”. Då pumpen stannar minskar radiatorflödet kraftigt vilket får till följd att framledningstemperaturen till radiatorerna snabbt stiger för att närma sig den primära framledningstemperaturen. En del av effekten försvinner snabbt för att efterhand återgå till 90 procent av sin ursprungliga nivå på drygt 43 kW. Radiatorflödet minskar som väntat kraftigt efter pumpstoppet (till knappt 20 procent av normalflödet) men effekten återhämtas genom den kraftigt ökade avkylningen i radiatorsystemet. Före försökets start är den sekundära avkylningen ungefär 9°C medan den vid fullt utvecklad självcirkulation är 50°C. Den sekundära framledningstemperaturen minskar något efterhand i och med att självcirkulationsflödet ökar något och radiatorreturtemperaturen sjunker.



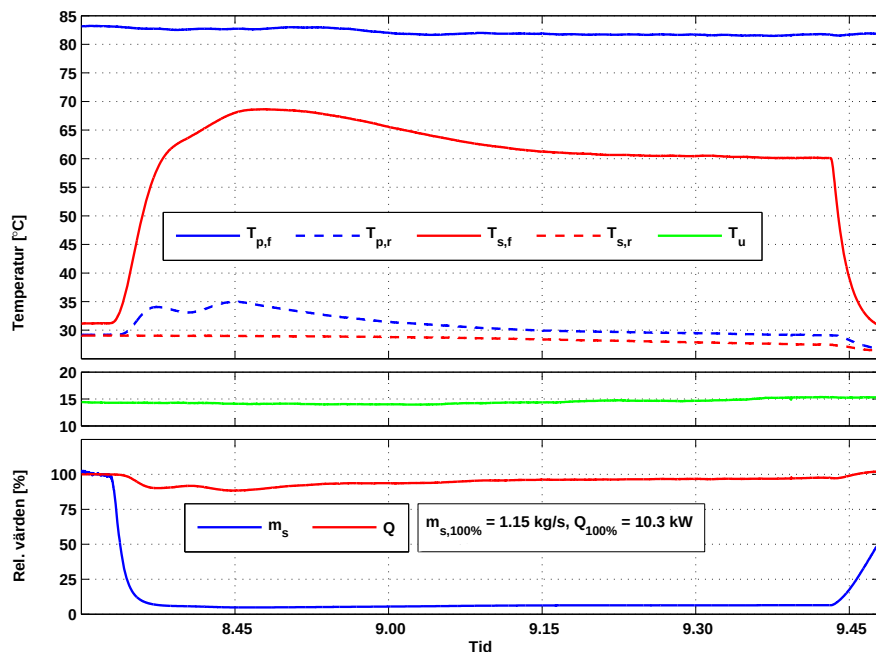
Figur 6 Avbrottsförsök på Cedergatan. Elförsörjningen till pump och reglering bryts strax före kl. 9.45 och återupptas strax efter 11.30. Utetemperaturen ligger kring 0°C.

Man skulle kunna befara att värmen vid självциркуlation inte fördelar sig tillfredsställande utan att de stammar som ligger närmast fjärrvärmecentralen skulle få det mesta av flödet. På några av stamledningarna i källaren har därför så kallade filmburksloggrar placerats för att studera hur värmen fördelas i byggnaden. Resultatet från mätningen på stammarna visas i Figur 7. Figuren visar att temperaturfronten, som registrerades vid fjärrvärmecentralen, fortplantar sig vidare i huset. Även om inte flödet har mätts, så kan man från det faktum att avkylningen är ungefär lika stor i de fyra stammarna, dra slutsatsen att även flödet är ungefär lika stort och därför bör värmen fördela sig relativt väl i huset. Under försöket fick vi även möjlighet att komma in i en lägenhet på tredje våningen, som var belägen relativt långt ifrån fjärrvärmecentralen, och känna på radiatorerna. Det kunde konstateras att dessa var heta.



Figur 7 Avbrottsförsök på Cedergatan. Figuren visar fram- respektive returledningstemperaturer (uppmätt i källaren) på fyra av stammarna i huset.

Den 23 maj 2006 genomfördes ett nytt test på Cedergatan för att undersöka vad som händer om ett elavbrott inträffar vid låg radiatorlast. Försöket visas i Figur 8 nedan. Vid detta tillfälle låg utetemperaturen kring 15°C och avkylningen i radiatorkretsen då pumpen var i drift var endast knappt 2°C. Resultatet blev att den sekundära framledningstemperaturen blev lägre än vid de tidigare försöken, i och med att både flöde och framledningstemperatur i fjärrvärmenätet var lägre, vilket i sin tur innebar ett lägre självcirkulationsflöde. Då radiatorlasten emellertid var mycket låg vid detta tillfälle blev resultatet att ganska exakt 100 procent av den ursprungliga radiatorlasten uppnåddes vid avbrottsförsöket, drygt 10 kW.



Figur 8 Avbrottsförsök på Cedergatan. Elförsörjningen till pump och reglering bryts strax efter kl. 8.30 och återupptas strax före 9.45. Utetemperaturen ligger kring 15°C.

Sammanfattningsvis kan man säga att självcirkulationen i detta testobjekt fungerar mycket väl. Nästan lika stor värmelast överförs i fjärrvärmecentralen vid ett elavbrott som vid normal drift. Det ska dock påpekas att rördimensionerna i radiatorsystemet är relativt väl tilltagna vilket underlättar för självcirkulation.

Stadiongatan

Bostadshuset på Stadiongatan är byggt 1960 och har 105 lägenheter fördelat på nio våningar. Det finns även en bottenvåning med olika lokaler, bland annat ett dagis. Likt huset på Cedergatan har detta ett tvårörssystem med relativt grova dimensioner. Den största skillnaden utgörs av att detta är ett större och högre hus. Resultatet av försöket är påfallande likt Cedergatan och värmelasten uppgår till ungefär 93 procent av den initiala på knappt 60 kW.

Systemet skiljer sig från övriga system genom att den har en rörvärmväxlare istället för plattvärmväxlare. Som helhet tycks inte detta påverka förutsättningarna för självcirkulation, även om det ser ut att ta något längre tid för radiatortemperaturen att stiga när elavbrottet inträffar.

Fridhemsgatan

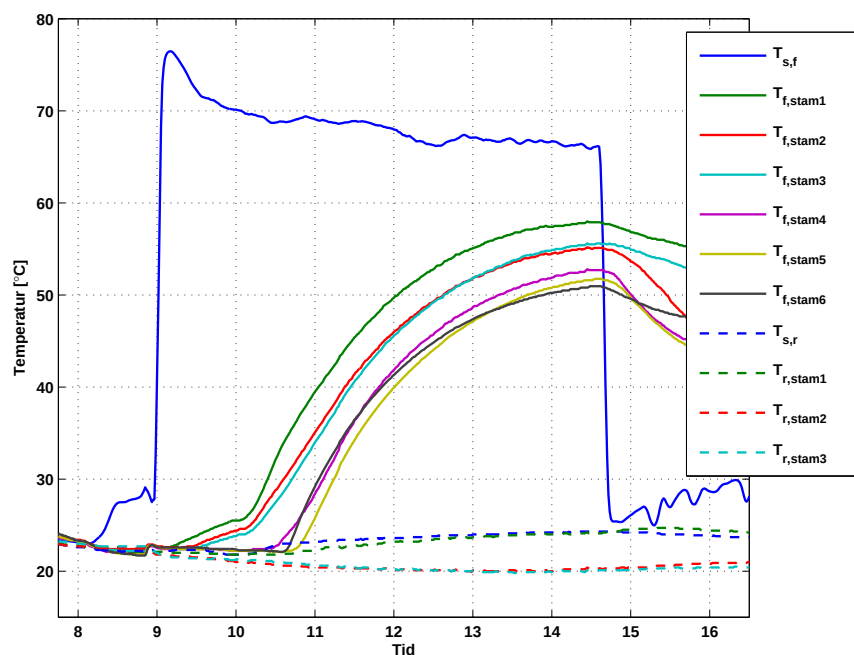
Det tredje flerbostadshuset i den här kategorin ligger på Fridhemsgatan i Karlshamn. Byggnaden studeras av LTH och Blekinge tekniska högskola i ett annat forskningsprojekt. Projektet ger möjlighet att styra och mäta samtliga parametrar av intresse i fjärrvärmecentralen, vilket gör det relativt enkelt att utföra ett självcirkulationsförsök i huset. Utrustningen har kompletterats med temperaturgivare på ett antal stammar i källaren. Huset är byggt på 1960-talet, har 24 lägenheter, tre våningar och ett källarplan. Då huset ligger i

sluttande mark utgörs ungefär halva källarplanet av konventionella källarutrymmen och resten av en restaurang och en livsmedelsbutik i markplan. I denna ände av huset är även fjärrvärmecentralen belägen.

Det första försöket genomfördes den 30 mars 2007. Viss självcirkulation uppstod, effektmässigt motsvarande ungefär 30 procent av normal drift (från 35 till 11 kW). Mätningen på källarstammarna, som täcker in den motsatta halvan av källaren i förhållande till fjärrvärmecentralen, visade ingen indikation på att varmare vatten nått fram till dessa.

Andra studier av anläggningen hade dock redan före försöket föranlett misstankar om att systemet kunde ha någon form av hydraulisk kortslutning. I samband med ett besök kunde två ventilationsaggregat i restaurangen respektive butiken undersökas. Båda aggregaten visade sig vara ur drift men hade öppna reglerventiler vilket gjorde att de fungerade som kortslutningar då flöde gick direkt från fram- till returledning, utan någon avkylning i apparaten. Konsekvensen av en sådan kortslutning blir att returtemperaturen från radiatorsystemet stiger, och därmed även på primärsidan. Vid normal pumpdrift behöver dock inte systemets funktion försämrars märkbart. I ett system med lågt differenstryck, som ett lågflödessystem eller självcirkulationssystem kan en kortslutning vara förödande då denna "förbrukar" en stor del av differenstrycket.

Det ena aggregatet kunde enkelt stängas av för hand medan det andra fick åtgärdas av en VVS-tekniker. Efter korrigeringen genomfördes ett nytt elavbrottsförsök. Vid detta tillfälle, den 21 maj, rådde hög utetemperatur och värmesystemet var inte i drift. Då försöket inleddes öppnades således reglerventilen till en relativt liten öppningsgrad, motsvarande senaste registrerade driftsfallet med värmelast. Resultatet blev att självcirkulation etablerades i systemet med en uppvärmningseffekt motsvarande 13 kW. Självcirkulationsflödet blev något större jämfört med det föregående försöket trots en mindre öppningsgrad av primärventilen, men framförallt kunde konstateras att varmt vatten nått fram till samtliga mätpunkter i källaren, även till den mest avlägsna som alltså är belägen vid motsatt gavel gentemot fjärrvärmecentralen, vilket visas i Figur 9.



Figur 9 Avbrottsförsök på Fridhemsgatan, Karlshamn. Figuren visar mätning av fram- och returledning vid fjärrvärmecentralen samt på utvalda stammar i källaren. Elförsörjningen till pump och reglering bryts vid kl. 9 och återupptas strax efter 14.30. Utetemperaturen är knappt 20°C varför reglerventilen öppnats något.

Sammanfattningsvis kan man säga att detta mätobjekt stärker bilden av hur självcirkulation fungerar i äldre flerbostadshus. Dock belyser problemen med de kortslutna ventilationsaggregaten hur känslig självcirkulationen kan vara för dåliga konstruktioner som kanske inte upptäcks vid pumpdrift. På så sätt kan det vara en fördel att genomföra ett sådant här försök och försöka hitta och åtgärda fel vilket kan resultera i förbättrad avkylning eller komfort för radiatorsystemet.

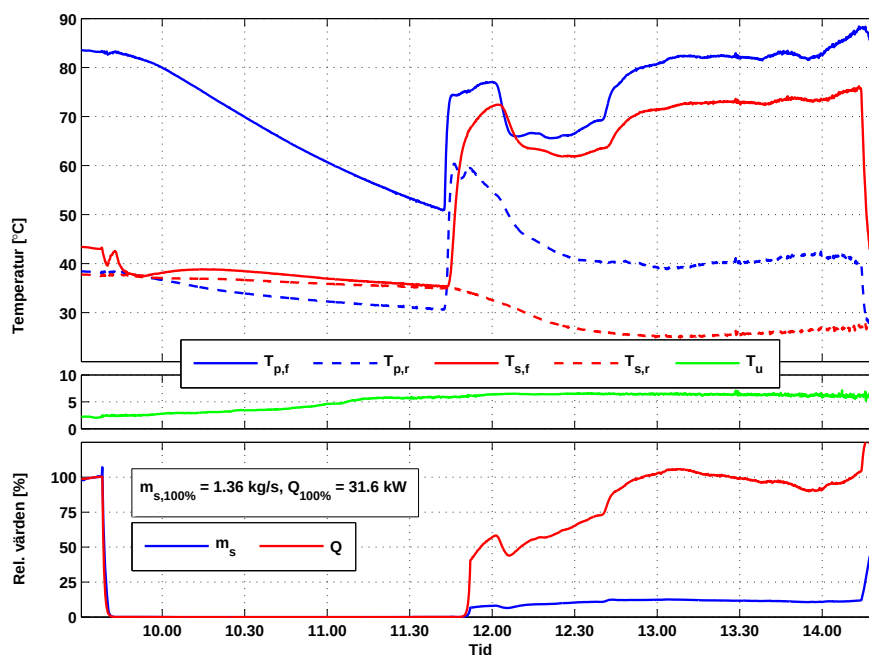
Försök med fördröjd start

I de ovanstående försöken har det varit en förutsättning att det från fjärrvärmebolagets sida funnits möjlighet att omedelbart ansluta reservkraft för att upprätthålla driften av fjärrvärmenätet. Således har ingen förändring i fjärrvärmenätets framledningstemperatur eller differenstryck beaktats. Även om dessa förutsättningar varit givna för fjärrvärmenätet i Malmö är det sannolikt att situationen är annorlunda i andra fjärrvärmenät. Som exempel kan nämnas att man på Växjö Energi AB [34] uppskattar att det kan ta ett par timmar innan värmedistributionen fungerar normalt igen med hjälp av reservkraft.

I testobjektet på Cedergatan genomfördes den 18 december 2006 ett test där en sådan fördröjd start simulerades, se Figur 10 nedan. Vid försökets start strax efter klockan 9.30 stängdes pumpen av i vanlig ordning. Reglerventilen för primärflödet stängdes, istället för att som vid tidigare försök frysas i sitt läge. För att med säkerhet hindra primärflödet stängdes dessutom en manuell avstängningsventil. Genom detta förfarande efterliknas ett fall där även distribution av fjärrvärme upphör. Under två timmar var primärflödet blockerat innan ventilen öppnades. Reglerventilen sattes sedan manuellt i samma position som då försöket

inleddes. Vid denna tidpunkt kan man se att temperaturdifferensen samt flödet i radiatorkretsen, och därmed radiatoreffekten, är mer eller mindre lika med noll.

När fjärrvärmevatten åter strömmar genom värmeväxlaren stiger både primär och sekundär framledningstemperatur vid fjärrvärmecentralen snabbt. Ganska omgående når effekten upp till ungefär hälften av nivån då försöket inleddes. Själv-cirkulationen tilltar dock långsammare jämfört med tidigare försök som genomförts i byggnaden. Efter knappt en timme är emellertid effekten helt återhämtad (drygt 30 kW). Av någon anledning sjunker den primära framledningstemperaturen ungefär 30 minuter in på avbrottsförsöket. Detta påverkar självfallet den sekundära framledningstemperaturen och verkar därmed hämmande för själv-cirkulationen. Sannolikt hade förloppet gått snabbare om inte denna störning inträffat.



Figur 10 Avbrottsförsök på Cedergatan den 18 december 2006. Primärflödet stängs av strax efter 9.30 varefter radiatorsystemet får svalna av i två timmar. Därefter återställs primärflödet.

Försöket visar att själv-cirkulationen, efter att den har stabiliserat sig, vid ett så kallat försök med fördröjd start fungerar i enlighet med tidigare försök med direkt start.

Eftersom själv-cirkulationen bygger på att varmt vatten på grund av sin lägre densitet stiger uppåt finns det anledning att undersöka vad som händer om radiatorflödet måste strömma nedåt i någon del av systemet. En sådan situation har ingen betydelse om själv-cirkulation är fullt utvecklad men verkar hämmande under en uppstartningsfas då en varm temperaturfront ska ta sig fram till de ställen i systemet där det finns en drivhöjd (stammarna). Ett inte helt ovanligt exempel på en sådan konstruktion är ett U-format rörstycke i vilken cirkulationspumpen är placerad. En sådan finns på Cedergatan, se till vänster i Figur 11. På den högra bilden ses anslutningsrören till pumpen i bakgrunden, i förgrunden längst ned till vänster finns radiatorvärmewäxlaren. Efter växlaren finns en stighöjd ungefär motsvarande U-rörets höjd.



Figur 11 Till vänster: Cedergatans cirkulationspump sitter placerad i ett U-rör. Till höger: Pumpen syns i bakgrunden, nere till vänster i förgrunden syns radiatorväxlaren.

Resultatet från försöket visar att U-röret inte har förhindrat självcirkulation från att uppstå. Sannolikt har värmefronten erhållit tillräckligt hög strömningshastighet i stigröret efter värmeväxlaren för att kunna ta sig igenom det nedåtgående röret.

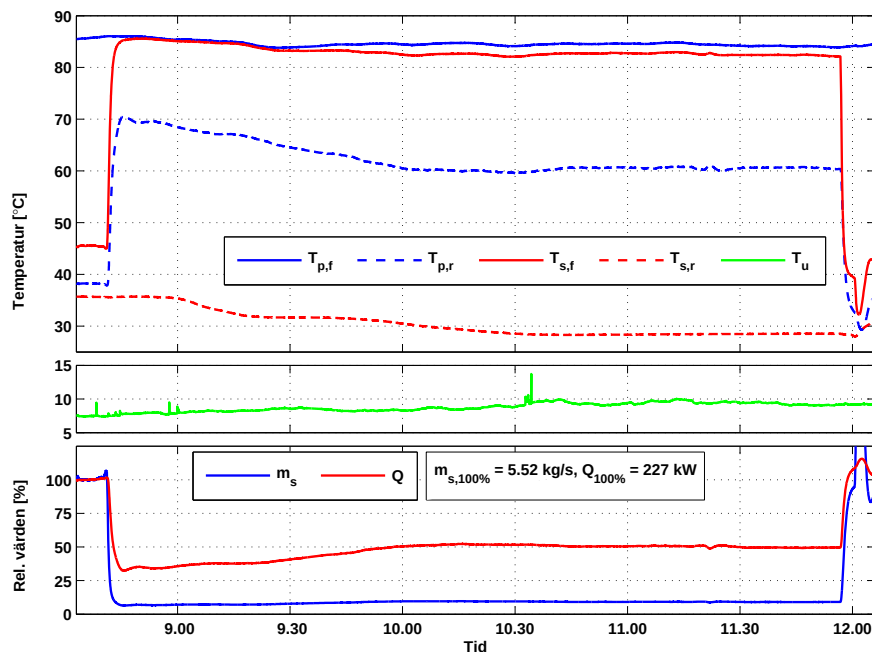
Stora ettrörssystem – Lugna gatan och Delsjögatan

De två andra testade flerbostadshusen representerar en annan typ av system. Båda är större, består av ett system med två byggnader anslutna till en fjärrvärmecentral och är av ettrörstyp. Detta i kombination med generellt mindre rördiametrar gör att det på förhand ser ut som om dessa objekt har sämre förutsättningar för självcirkulation.

Lugna gatan

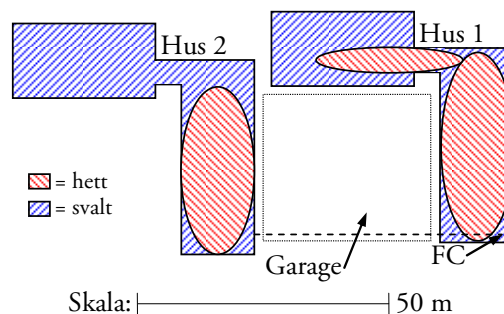
Testobjektet på Lugna gatan är byggt 1979 och består av två huskroppar som försörjs från en gemensam fjärrvärmecentral som är belägen i källaren i det ena huset. Totalt finns 143 lägenheter och husen har sju våningar. Ettrörssystemet är utformat så att varje slinga med seriekopplade radiatorer försörjer en lägenhet. Testet genomfördes den 6 april 2006 och resultatet från mätningarna i fjärrvärmecentralen visas i Figur 12 nedan.

Temperaturförloppen påminner om de tidigare försöken med en hög framledningstemperatur och en hög avkylning i radiatorsystemet, men det relativa flödet blev lägre med följd att värmelasten inledningsvis minskade till en låg nivå för att sedan öka och drygt en timme senare stabilisera sig kring 50 procent av den initiala effekten.



Figur 12 Avbrottsförsök på Lugna gatan. Elförsörjningen till pump och reglering bryts strax före kl. 8.45 och återupptas strax före 12.

Figur 13 nedan visar en översiktlig bild av fastigheten på Lugna gatan. De streckade linjerna indikerar den distributionsledning som går från fjärrvärmecentralen, genom det garage som ligger under gården, och in i Hus 2. För att studera hur värmen sprids i systemet placerades temperaturgivare på några stammar. Då det inte fanns möjlighet att placera givare på samtliga stammar under försöket kontrollerades övriga stammar "för hand". Man kan känna en mycket skarp skillnad mellan de stammar som inte har cirkulation, som svalnar av mot omgivningstemperaturen och upplevs som kalla, och de som får cirkulation vilka blir mycket heta. Under försöket fick vi även möjlighet att känna på radiatorerna i en lägenhet på sjätte våningen längst bort i Hus 1. Det visade sig att radiatorn i köket, som ligger först på den radiatorslinga som löper genom lägenheten, var het medan övriga var svala.



Figur 13 Översiktlig bild av det studerade systemet på Lugna gatan med en uppskattning av hur den överförda värmen har fördelat sig i husen. Den streckade linjen indikerar distributionen från fjärrvärmecentralen till Hus 2.

Sammanfattningsvis kan man konstatera att det som väntat blev lägre självcirkulation på Lugna gatan jämfört med de tidigare studerade systemen. Värmelasten uppgick ungefär till 50 procent vilket ändå kan betraktas som ett relativt bra resultat med tanke på systemets förutsättningar. Resultaten indikerar att värmen fördelar sig något ojämnt i husen. Vissa stammar får god cirkulation medan andra verkar ”stå stilla”.

Delsjögatan

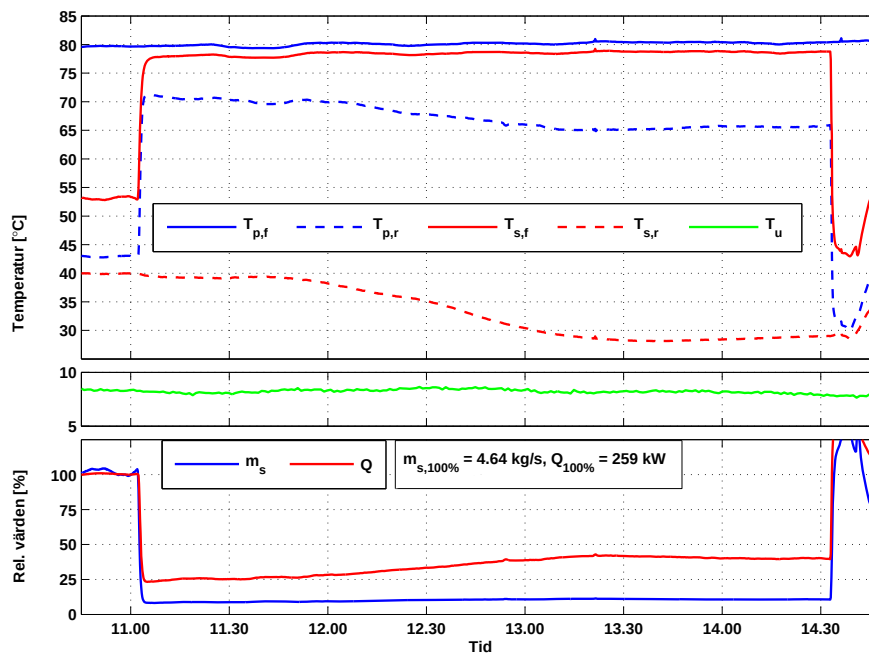
Fastigheten Delsjön består av fem huskroppar och är byggd 1976. Det finns tre radiatorkretsar, en som förser ett mindre låghus och två som förser två sexvåningshus vardera. Den ena av de två sistnämnda har använts för att genomföra en elavbrottsstudie. Figur 14 nedan visar en översiktlig bild av hur fastigheten ser ut. De berörda husen är markerade som Hus 1 och Hus 2. De har tillsammans 196 lägenheter. Fjärrvärmecentralen är placerad i anslutning till garaget som ligger mitt i fastigheten. Från fjärrvärmecentralen går en distributionsledning längs garagets vägg fram till Hus 2. Halvvägs sker en avlänkning till Hus 1 och denna distributionsledning löper under jord. Transportsträckan från fjärrvärmecentralen till respektive hus är knappt 100 meter.



Figur 14 Fastigheten på Delsjögatan. Den studerade radiatorkretsen förser Hus 1 och Hus 2.

Radiatorsystemet är av ettrörstyp med förhållandevis små dimensioner. Fastigheten har alltså många likheter med den på Lugna gatan. En skillnad är emellertid att på Lugna gatan utgjordes varje ettrörsslinga av radiatorerna i en lägenhet medan varje slinga på Delsjögatan förser två eller tre lägenheter. Det senare utförandet bidrar till att skapa ännu större strömningsmotstånd i systemet och försämrar därmed förutsättningarna för självcirkulation. Det kan även bidra till en ojämn värmefördelning då det är sannolikt att värmen avges i de första radiatorerna i slingan. Att systemet har höga tryckfall blir ännu tydligare om man jämför cirkulationspumpen med den som sitter i huset på Stadiongatan: Det sistnämnda systemet har 105 lägenheter och grova rördimensioner och pumpens uppforderingshöjd är ungefär 2 meter vattenpelare (0,2 bar) medan pumpen på Delsjögatan har ungefär 14 meter (1,4 bar) i uppforderingshöjd. Förutom de höga tryckfallen orsakade av ettrörskonstruktionen

och rördimensionerna så förekommer alltså stora horisontella rörsträckor i systemet. I likhet med problematiken med nedåtgående rör så finns ett kritiskt moment i att den heta fronten från fjärrvärmecentralen måste kunna ta sig fram till en stighöjd för att cirkulationen ska få fart. Resultatet från mätningen i fjärrvärmecentralen under försöket redovisas i Figur 15. Två och en halv timme in på avbrottet uppgår effekten till drygt 40 procent av den ursprungliga, vilket innebär ungefär 105 kW av ursprungliga 260 kW.

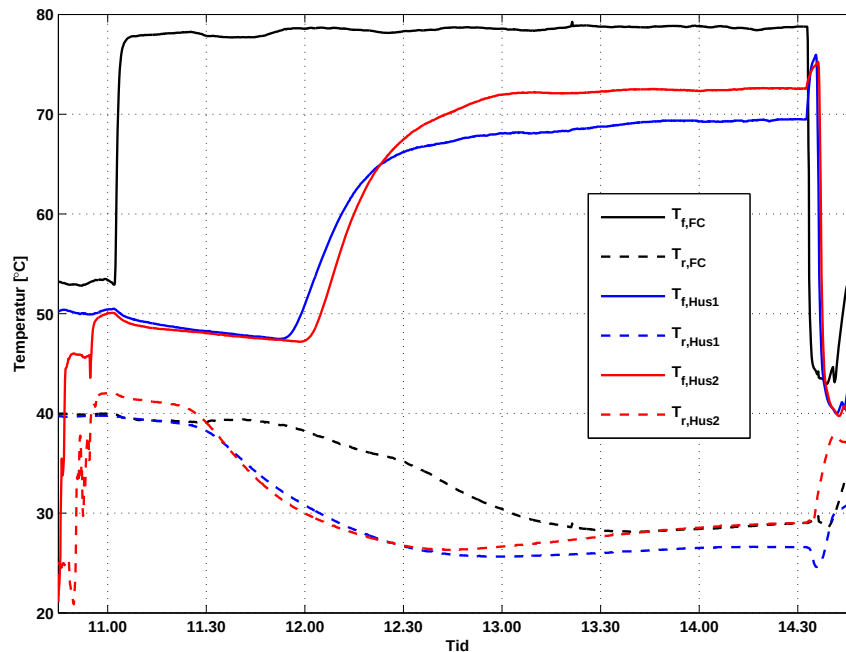


Figur 15 Avbrottsförsök på Delsjögatan den 19 december 2006. Elförsörjningen till pump och reglering bryts strax efter kl. 11 och återupptas strax efter 14.30. Utetemperaturen ligger kring 8°C.

Under inledningen av försöket lägger sig effekten på en lägre nivå, ungefär 70 kW, för att efter en timme sakta börja tillta. Efter två timmar nås den högre nivån kring 105 kW. Detta beror på att fler stammar ”kommer igång” efter hand beroende på att hett vatten når fram till dem.

I Figur 16 visas åter fram- och returledningstemperaturen i radiatorsystemet uppmätt vid fjärrvärmecentralen tillsammans med motsvarande temperaturer uppmätta vid inloppen till de båda husen. Dessa mätpunkter är även markerade i Figur 17. Vid fjärrvärmecentralen når den sekundära framledningstemperaturen en mycket hög nivå relativt omgående. Här ser vi däremot att temperaturen vid inloppen till husen långsamt sjunker under den första timmen av försöket, vilket indikerar att vattnet strömmar mycket långsamt. Därefter stiger temperaturen relativt kraftigt, från ca 48°C till 65°C på ungefär 20 minuter. Två timmar in på försöket har temperaturen, i första hand till Hus 2, nått ett stabilt tillstånd kring 73°C. Skillnaden på 6°C upp till temperaturnivån vid fjärrvärmecentralen motsvarar värmeförlusten från rören. Till Hus 2 är förlusten ungefär 9°C. Innan försöket inleds kan man notera att förlusten uppgår till ungefär 3°C ut till båda husen. Detta är helt logiskt då strömningshastigheten är mycket högre vid pumpdrift och därmed är temperaturförlusterna mindre på grund av att vattnet har en kortare uppehållstid i rören.

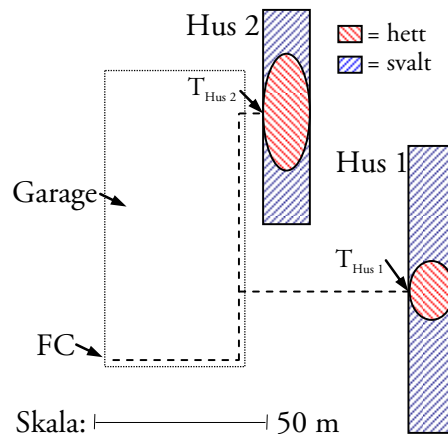
Framledningstemperaturen till Hus 1 är lägre än till Hus 2, vilket kan bero på att värmeförlusten är högre då ungefär hälften av distributionsledningen löper under jord (lägre omgivningstemperatur) medan ledningen till Hus 2 löper i garaget hela vägen.



Figur 16 Fram- respektive returledningstemperaturer vid inloppen till de båda husen.

Om man studerar returtemperaturerna kan ytterligare några slutsatser dras. Då försöket inleds sker, precis som med framledningstemperaturerna, en långsam avkylning. Efter 30 minuter sjunker dock returtemperaturerna vid husens tillopp snabbare. Detta beror sannolikt på att vid denna tidpunkt har den ökade avkylning som sker i radiatorerna då flödet minskar, nått fram till mätpunkten. Efter kl. 13 stiger returtemperaturerna något, vilket sannolikt är en följd av att flödet ökat något.

I Figur 17 nedan görs ett försök att illustrera hur värmen har spridit sig i systemet då försöket avslutades. Denna analys är baserad på att vi under försökets gång gick runt i källaren i de båda husen och kände på stammarna. Dessa visade sig, precis som under försöket på Lugna gatan, vara antingen kalla (nära omgivningens temperatur) eller heta. I Hus 2 var merparten av stammarna heta, endast ett fåtal närmast husets gavlar var kalla. I Hus 1 var däremot endast två stammar närmast inloppet till huset varma. Det är rimligt att anta att en majoritet av radiatoreffekten under försöket gick till Hus 2.

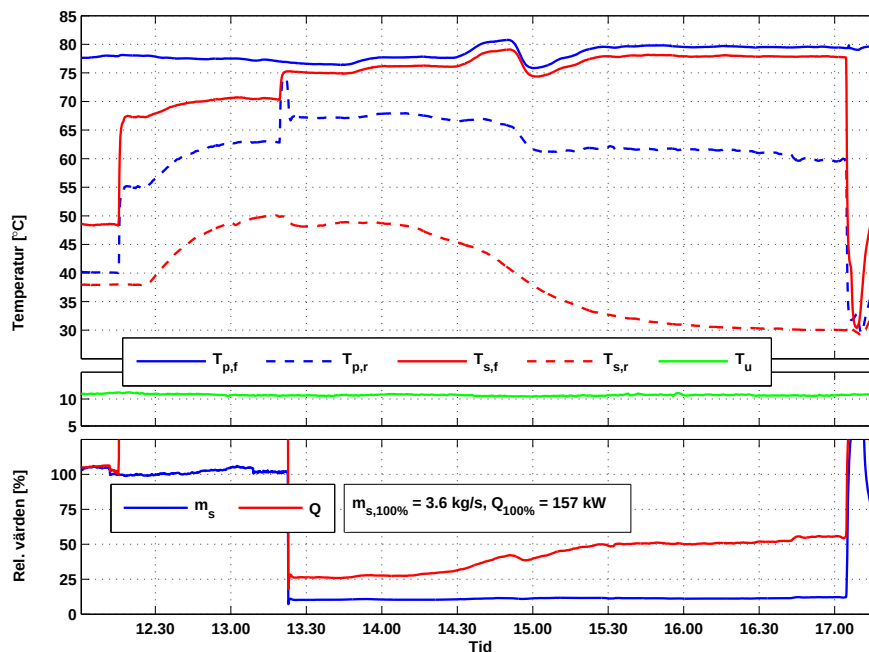


Figur 17 Översiktlig bild av den studerade radiatorkretsen med en uppskattning av hur den överförda värmen har fördelat sig i husen.

Frågan är vad den ojämna fördelningen beror på. En anledning skulle kunna vara att framledningstemperaturen till Hus 1 är lägre. Det är dock mindre troligt eftersom även returtemperaturen är lägre vilket ger ungefär samma temperaturdifferens. En möjlig förklaring är att Hus 2 är mindre än Hus 1 vilken kräver en injustering som stryker flödet till Hus 2. Denna injustering sätts ur spel vid självirkulation eftersom tryckfallet i systemet blir mycket litet. Båda husen kommer då att ha ungefär samma tillgängliga differenstryck vilket resulterar att det mindre huset får ett större flöde.

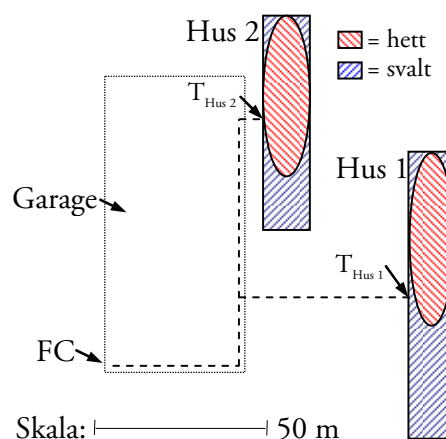
Forcerad uppvärmning på Delsjögatan

Eftersom det funnits anledning att misstänka att självirkulationen långsamt sprider sig i husen och efterhand får med sig fler stammar hade det varit önskvärt att låta ett försök fortgå under längre tid. Detta är dock svårt med tanke på komforten för hyresgästerna. I ett försök att se om självirkulation kan etableras i hela systemet genomfördes ett test med vad vi valt att kalla forcerad uppvärmning. Genom att höja framledningstemperaturen till radiatorsystemet och låta denna nå ut i hela systemet innan ett avbrottsförsök inleds så var förhoppningen att självirkulation lättare skulle etableras. Försöket redovisas i Figur 18 nedan.



Figur 18 Avbrottsförsök på Delsjögatan den 10 januari 2007. Vid 12.15 höjs den sekundära framledningstemperaturen genom att öppna reglerventilen. Vid 13.20 återställs reglerventilen samtidigt som elförsörjningen till pump och reglering bryts. Försöket avslutas strax efter 17. Uttemperaturen ligger kring drygt 10°C.

När försöket avslutas ligger radiatoreffekten på drygt 50 procent av den initiala, alltså högre än under det förra försöket. Man kan konstatera att den forcerade uppvärmningen i viss mån har hjälpt självcirkulationen. Att effekten inte blir högre beror på att avkylningen i radiatorsystemet är relativt liten så länge pumpen är i drift, även om framledningstemperaturen är hög. Figur 19 visar en uppskattning av hur värmen har spridit sig i systemet under försöket med forcerad självcirkulation. Den något högre procentuella effekten under detta försök (10 procentenheter) avspeglades i något fler heta stammar.



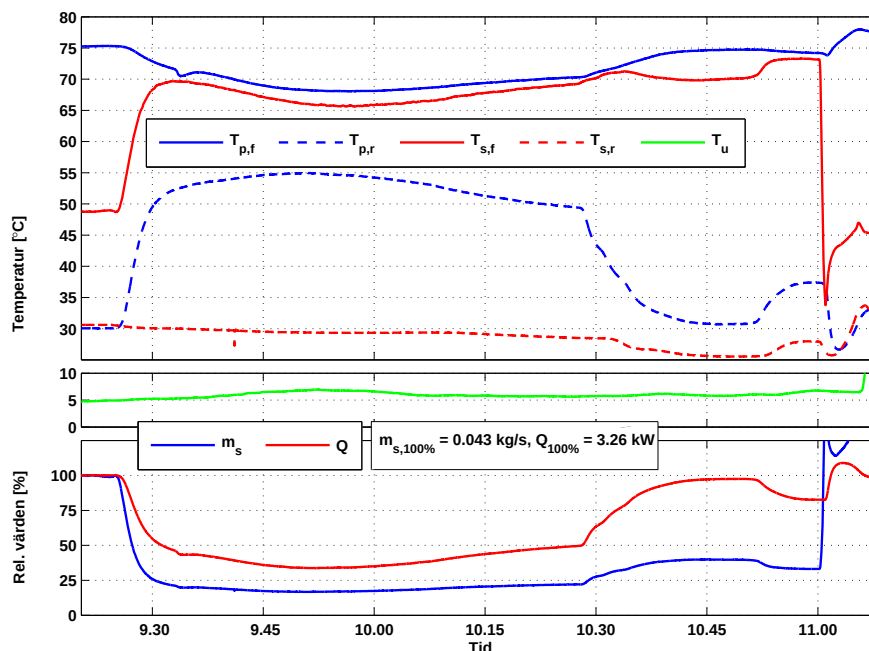
Figur 19 Översiktlig bild av den testade radiatorkretsen med en uppskattning av hur den överförda värmen har fördelat sig i husen under testet med forcerad självcirkulation.

Försöken på Delsjögatan har stärkt den bild av potentialen för självcirkulation i stora ettrörssystem som försöket på Lugna gatan gav. Kombinationen av långa transportsträckor och stora tryckfall gör att självcirkulationen fungerar sämre jämfört med andra testade system. En betydande värmeavgivning är dock möjlig att upprätthålla under ett elavbrott genom den självcirkulation som ändå uppstår. Resultaten visar som väntat att självcirkulationen inte visar några tendenser till att avstanna med tiden, snarare tvärtom. Vissa frågetecken kvarstår: Kan man få självcirkulation i hela systemet? Eller, vad krävs för att få självcirkulation i hela systemet? Om vissa stammar kan få god cirkulation, borde detta rimligtvis gälla samtliga. Frågan är om den heta fronten efterhand kan nå fram till nya stammar (genom långsamt cirkulerande vatten eller genom värmeledning i rören) och ge cirkulation i dessa eller om värmeförlusterna från rören tar över och begränsar självcirkulationens utbredning.

SMÅHUS

Kjellsgatan

Fyra småhus av varierande ålder och typ har studerats. Det första objektet ligger på Kjellsgatan i Malmö och testades den 5 april 2006. Huset är byggt 1927 och bör ha goda förutsättningar för att klara ett elavbrott då det från början är byggt för självcirkulation. Det har både källare, där fjärrvärmecentralen är placerad, och övervåning, det vill säga en relativt hög drivhöjd och ett radiatorsystem av tvårrörstyp. Att självcirkulation fungerar är ändå ingen självklarhet, då systemet är anslutet till fjärrvärme tillkommer flödesmotstånd i värmeväxlaren, kopplingsledningar med mindre diameter än systemet i övrigt samt även i pumpen som utgör ett motstånd då den inte är i drift. Resultatet från försöket visas Figur 20.



Figur 20 Avbrottsförsök på Kjellsgatan. Elförsörjningen till pump och reglering bryts strax före kl. 9.30 och återupptas vid 11. Utetemperaturen ligger på drygt 5°C.

Under ganska lång tid ligger effekten på drygt en tredjedel av den ursprungliga. Då vi misstänkte att termostatventilerna till de relativt stora radiatorerna i vardagsrummet stängde på grund av ganska kraftig solinstrålning skruvade vi av dessa strax före kl. 10.30. Efter detta tilltog självcirkulationen ganska kraftigt och värmeeffekten närmade sig den ursprungliga nivån på drygt 3 kW.

Bindvidegatan och Svansjögatan

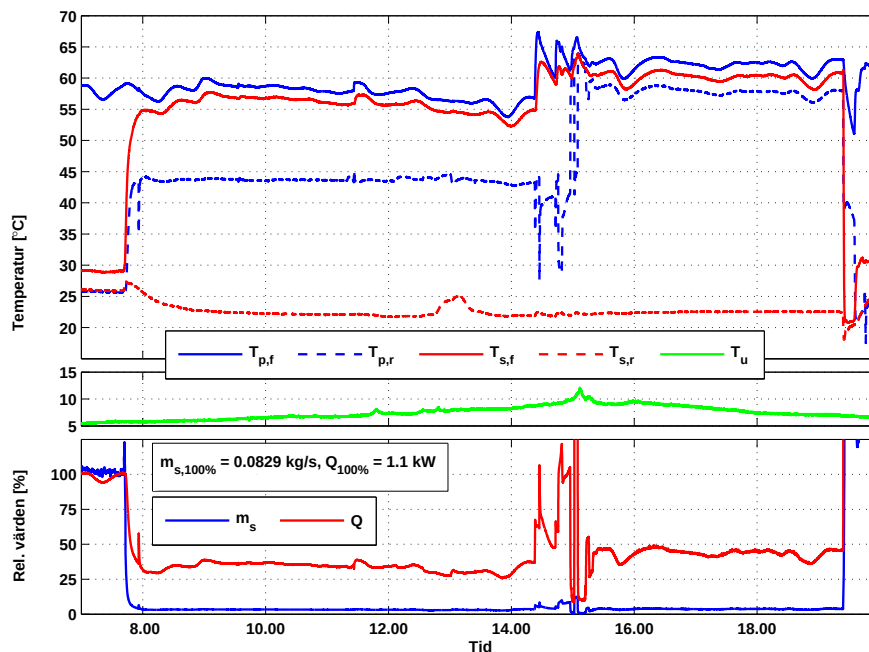
Det andra studerade småhuset ligger på Bindvidegatan i Malmö. Huset är ett enplanshus som är byggt 1964. Det är anslutet till ett sekundärnät och är utrustat med ett tvårörssystem. Eftersom systemet saknar drivhöjd (då fjärrvärmecentralen och samtliga radiatorer ligger i samma nivå) borde det inte uppstå någon självcirkulation, och så var inte heller fallet vid det försök som genomfördes den 9 februari 2007.

Det tredje småhuset är beläget på Svansjögatan, även det i Malmö. Det är byggt 1980 och är ett tvåplanshus med ett tvårörssystem. Fjärrvärmecentralen är av en äldre typ med förrådsberedare både för tappvarmvatten och för radiatorvatten. Värmeberedningen regleras med en självverkande termostatisk ventil. Förrådstanken höll en temperatur mellan 55 och 65°C och radiatorframledningens temperatur regleras med en trevägs shuntventil. Då shuntventilen kortslöt radiatorflödet uteblev självcirkulationen.

Denna typ av fjärrvärmecentral begränsar den sekundära framledningstemperaturen till 55-65°C, även om inte shuntventilen hade kortslutit radiatorsystemet.

Skyttelinjen

Det sista testade småhuset är beläget på Skyttelinjen i Lund. Det är byggt 1998, består av två plan och är anslutet till ett sekundärnät, d.v.s. ett nät med lägre tryck- och temperaturnivå än huvudnätet till vilket det är sammanbundet via en värmeväxlare. Vidare visade sig huset ha ett ettrörssystem vilket ibland förekommer i nyare småhus. Försöket genomfördes den 7 mars 2007 och visas i Figur 21.

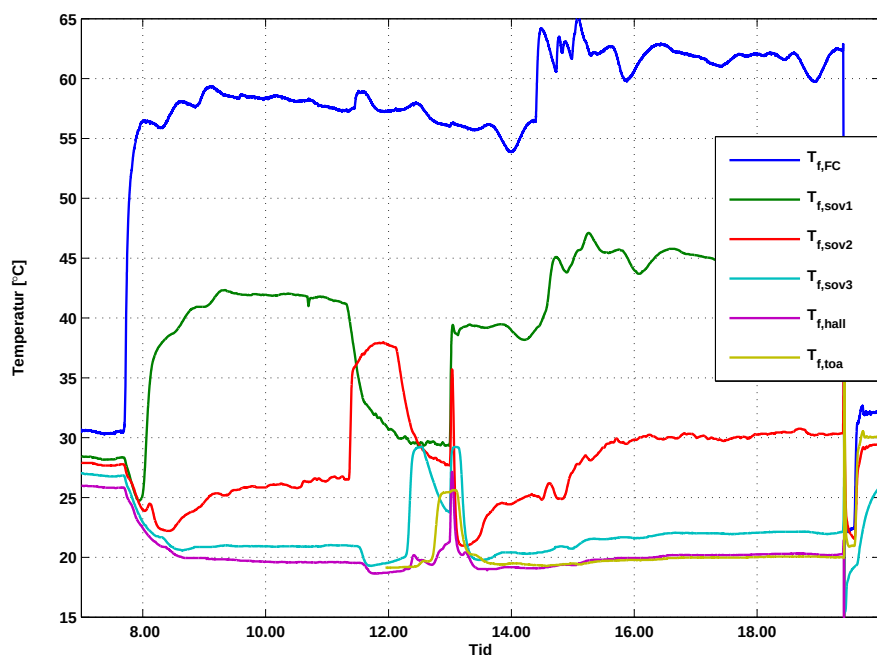


Figur 21 Avbrottsförsök på Skyttelinjen. Elförsörjningen till pump och reglering bryts strax före kl. 8 och återupptas efter 19. Uttemperaturen ligger mellan 5 och 10°C.

Radiatoreffekten låg mellan 30 och 35 procent fram till klockan 14.

Framledningstemperaturen var under 60°C och primärflödet mycket lågt, dels för att ventilöppningen initialt var mycket liten, dels för att inga tappningar gjordes fram till denna tidpunkt. För att se om ett större flöde skulle ge en högre temperatur gjordes några kraftiga tappningar mellan klockan 14 och 15. Resultatet blev att framledningstemperaturen steg uppskattningsvis 5 grader. Detta fick till följd att radiatoreffekten steg till en nivå kring 40 procent. För att hålla framledningstemperaturen på en så hög nivå som möjligt öppnades reglerventilen, vilket avspeglas i figuren genom att returtemperaturen höjts.

Den relativt måttliga självcirkulationen beror dels på ettrörskonstruktionen, men även på att systemet har två slingor, en på respektive våning. Då nivån för den första ligger under fjärrvärmecentralen, och därmed saknar drivhöjd, får denna ingen cirkulation alls. All effekt går istället till slingan på övervåningen. I denna avges i sin tur nästan all effekt i den första radiatorn. Detta åskådliggörs i Figur 22 nedan. Kurvan som håller högst nivå motsvarar temperaturen som lämnar fjärrvärmecentralen, näst högst nivå motsvarar temperaturen fram till första radiatorn. Man kan också se att den andra radiatorn har en något förhöjd framtemperatur jämfört med övriga radiatorer. Strax före klockan 12 stängs den första radiatorn vilket får till följd att värmefronten nästan omedelbart flyttas till den andra radiatorn. En knapp timme senare stängs även denna radiator och man kan se hur värmefronten vandrar vidare till den tredje radiatorn. Därefter öppnas åter samtliga radiatorer. Nivåskillnaderna, dels från fjärrvärmecentralen till första radiatorn, och dels mellan radiatorernas framtemperatur då de fungerar som första radiator i slingan visar att värmeavgivningen från rören är mycket hög.



Figur 22 Avbrottsförsök på Skyttelinjen. Framtemperaturer i radiatorslingan på övervåningen.

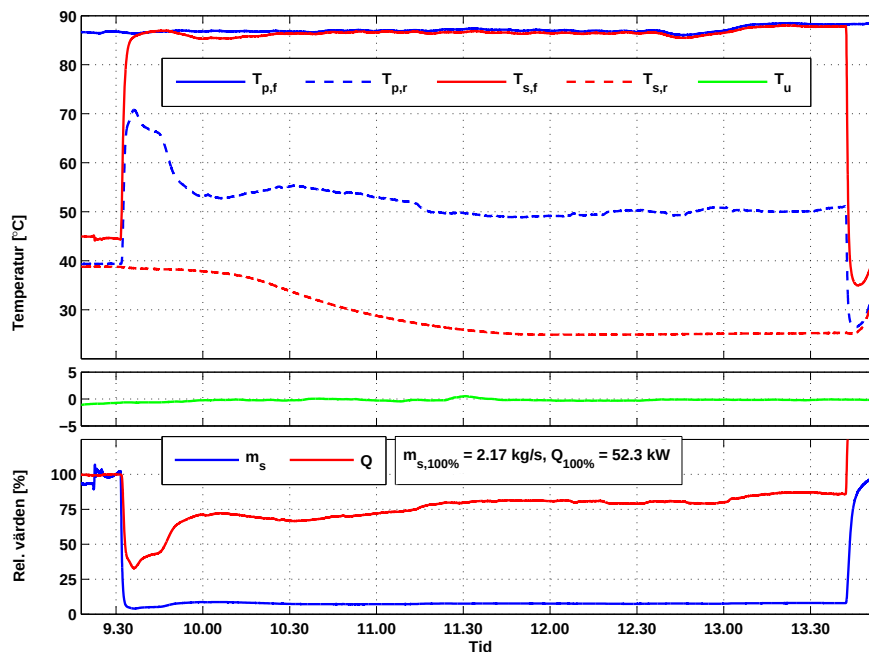
Sammanfattningsvis kan man säga att de försök som genomförts i småhus gav ganska varierande resultat. Två system fungerade inte alls: i det ena var det förväntat då det saknade drivhöjd och i det andra berodde det på en gammal typ av fjärrvärmecentral med självverkande reglering, ett hus gav måttlig självcirkulation på grund av ettrörssystem och ett hus fungerade mycket bra tack vare gammal konstruktion.

LOKALER

Holmaskolan

Två objekt i den här kategorin har studerats och båda är skolor av vitt skilda typer belägna i Malmö. Den ena studerade skolan heter Holmaskolan och är byggd 1976. Den består av en byggnad, i huvudsak i ett plan, och omfattar 4 000 m². Under en fjärdedel av byggnaden finns en källare och i mitten är byggnaden förhöjd för att ge plats åt gymnastik- och musiksalar och ett fläktrum. Fjärrvärmecentralen är belägen i källaren och ett stycke därifrån går ledningar för både radiatorkretsen och hetvattenkretsen upp till fläktrummet. Därifrån fortsätter radiatorkretsen ner och ut i ena halvan av byggnaden. Den andra halvan förses genom horisontella ledningar direkt från fjärrvärmecentralen. Centralt i byggnaden finns alltså en drivhöjd motsvarande tre våningar, medan större delen av byggnaden består av ett plan och har mycket liten drivhöjd.

Försöket genomfördes under februari-lovet då det endast förekom fritidsverksamhet i en begränsad del av skolan. Ventilationen var avstängd hela tiden. Resultatet av försöket visas i Figur 23.



Figur 23 Avbrottsförsök i Holmaskolan. Elförsörjningen till pump och reglering bryts vid kl. 9.30 och återupptas vid 13.45. Utetemperaturen ligger kring 0°C.

Figuren visar att självcirkulationen blev relativt god. Flödet blev ungefär 10 procent, men en avkylning på drygt 60°C gav en effekt på ungefär 85 procent. Det visade sig också att värmen spred sig i hela byggnaden, även i enplansdelarna.

Till stigarledningarna upp till fläkttrummet är en mycket stor radiator ansluten, som är placerad i ett rum som tillhör fritids. Denna radiator blev mycket varm och fick stängas av då rummet blev kraftigt övervämt. Radiatorn stängdes av vid 10.30 och öppnades igen strax efter 13. Det är möjligt att detta går att utläsa i Figur 23, även om det är svårt att veta med säkerhet eftersom den primära framledningstemperaturen samtidigt ökar något.

Bergaskolan

Den andra studerade skolan heter Bergaskolan och är byggd 1953 och omfattar flera byggnader. Förutom en större huvudbyggnad, med tre våningar plus källare, finns bland annat matsal, slöjdsal och gymnastiksal, totalt 11 000 m². En hetvattenkrets förser radiatorkretsar och luftbatterier i hela systemet med värme genom shuntgrupper med tvåvägsventiler. De allra flesta shuntgrupperna är försedda med avstängningsventiler som möjliggör förbikoppling av reglerventil och pump vilket innebär att hetvatten går direkt ut i radiatorkretsen, vilket möjliggör att självcirkulation kan uppstå.

Studien utfördes under februariåret för att vi skulle få möjlighet att studera och testa systemet med så liten olägenhet som möjligt för verksamheten. Emellertid pågick omfattande verksamhet i matsalen vilket förhindrade att ventilationen kunde stängas av vid försökstillfället. Detta innebar att hetvattenkretsen kylde i luftbatterierna vilket skulle kunna stimulera självcirkulationen på ett icke önskvärt sätt. Därför stängdes hetvattenflödet till de

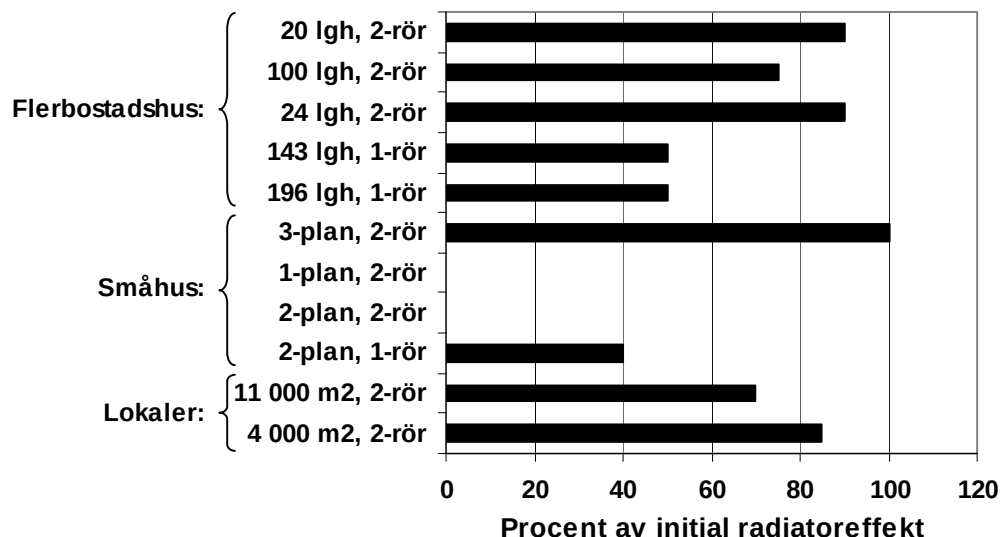
luftbatterier som var i drift. Dessvärre medförde detta att tilluften i matsalen inte blev uppvärmd och försöket fick avbrytas efter ungefär 45 minuter då det blev för kallt i matsalen.

Dessvärre kunde inte heller dessa 45 minuter utnyttjas fullt ut då den primära reglerventilen stängde när framtemperaturen steg efter pumpstoppet. Så fort detta upptäcktes öppnades ventilen manuellt. Försöket pågick därefter i ungefär 20 minuter. På så kort tid hann den heta temperaturfronten från värmeväxlaren inte fram till några av våra mätpunkter ute i systemet, dock till en mätning i källaren strax utanför fjärrvärmecentralen. Man kan därför inte fastslå hur stor självcirkulation som skulle kunna uppstå i systemet. Då försöket avslutades kunde man i varje fall konstatera att den momentant överförda effekten i värmeväxlaren uppgick till 70 procent av den initiala samt att den primära returtemperaturen var på väg att sjunka vilket, i jämförelse med tidigare försök, visar att effekten är på väg upp, eller åtminstone inte minskar.

Ytterligare en komplikation bestod i att pumpen i åtminstone en radiatorkrets inte stoppades på grund av att vi inte hade möjlighet att komma åt den. Flödesmotståndet i hetvattenkretsen, som sträcker sig över hela skolan, är avsevärt mycket större än flödesmotståndet i en radiatorkrets. Pumpens differensstryck kommer därför att ge upphov till ett flöde i radiatorkretsen (precis som vid normal drift). Det kan dock inte uteslutas att pumpens differensstryck även bidrar till flödet i hetvattenkretsen, vilket i så fall "felaktigt" hjälper självcirkulationen.

SAMMANSTÄLLNING AV RESULTAT

Hittills har sex flerbostadshus, fyra småhus och två lokaler (skolor) testats. Figur 24 visar den ungefärliga radiatoreffekt (i förhållande till initial effekt) som kunnat erhållas med självcirkulation.



Figur 24 Sammanställning av de byggnader där försök med självcirkulation genomförts. Staplarna anger den radiatoreffekt (relativt den initiala) som uppnåddes under försöket.

SIMULERINGAR

För att undersöka förutsättningar för självcirkulation vid varierande yttre omständigheter, såsom varierande utomhustemperatur och framledningstemperatur har datorsimuleringar gjorts med dynamiska modeller, uppbyggda i programmet Matlab och dess tillhörande toolbox Simulink. Genom att verifiera modellen med fältförsök har den trimmats in för att till så stor del som möjligt överensstämma med resultaten från fältförsöken.

Simuleringarna bygger på en modell sammansatt av värmeväxlare, regulator, radiatorer, injusteringsventiler, kopplingsledningar, huskroppar etc. Dessa komponenters funktion och teori beskrivs utförligt av flera författare, se till exempel [12], [13], [18] och [22]. De modifieringar som gjorts av modellerna för att kunna simulera självcirkulation finns beskrivna i [15].

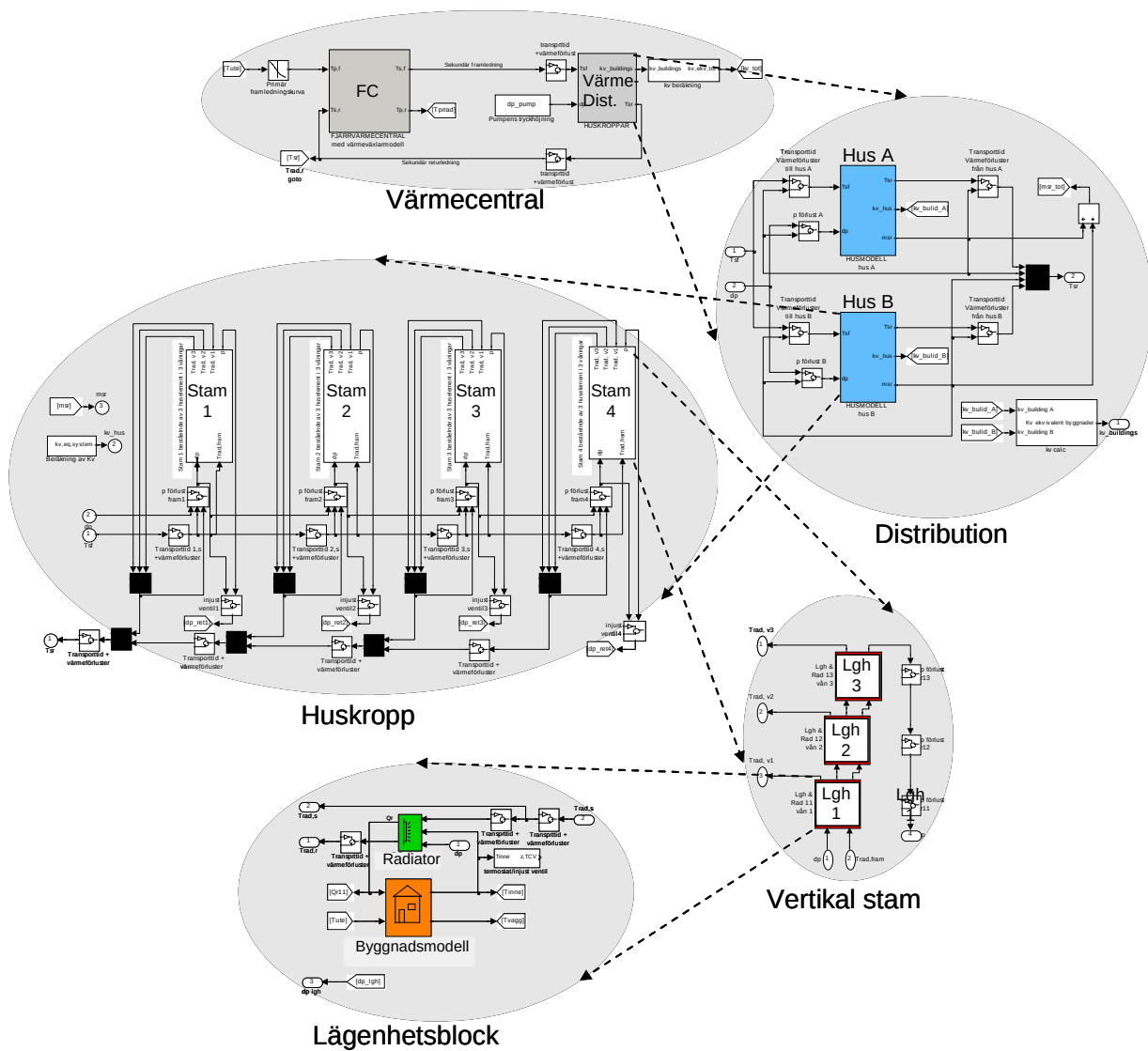
MODELLEN

Modellen finns i två utföranden:

1. Motsvarande ett flerbostadshus med ett relativt grovt dimensionerat tvårörssystem, 20 lägenheter, tre våningar.
2. Två flerbostadshus med gemensam fjärrvärmecentral, relativt klen dimensionerat ettrörssystem, 100 lägenheter per hus och sex våningar.

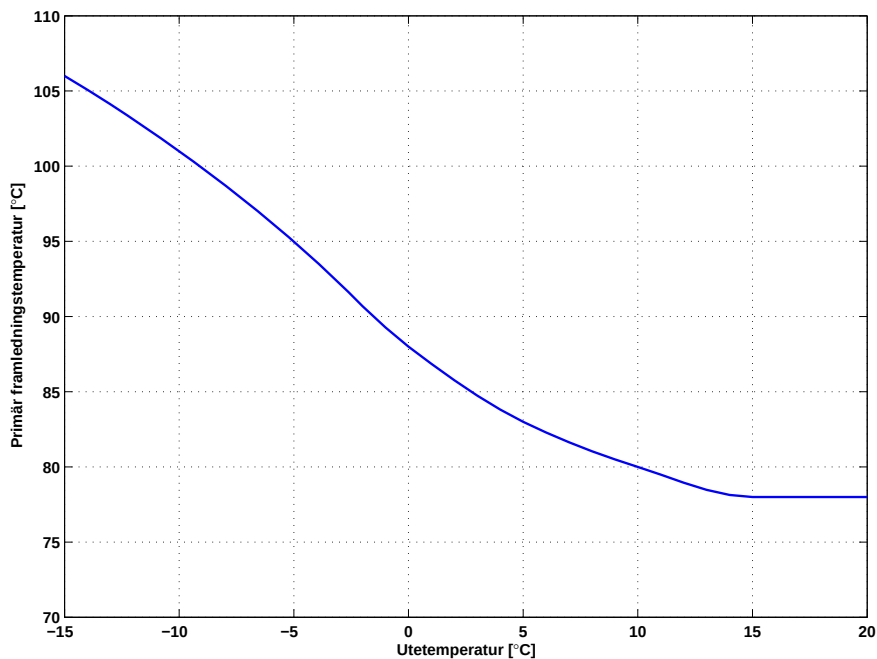
Dessa två modeller bygger på samma grundkomponenter, men representerar två ytterligheter avseende självcirkulation genom att modell nummer 2 har betydligt större tryckfall över radiatorsystemet samt långa horisontella rörsträckningar mellan huskropparna och fjärrvärmecentralen, något som inte är gynnsamt för självcirkulation. Det kan sägas att modell nummer 1 motsvarar försöksobjektet på Cedergatan, och att modell nummer 2 motsvarar testobjektet på Delsjögatan.

Modellen består, något förenklat, av en fjärrvärmecentral med reglerutrustning, rörledningar och huskroppar. Varje huskropp har ett värmesystem bestående av fyra vertikala stammar, som var och en förser tre lägenhetsblock med värme. Se Figur 25 för principiell uppbyggnad av modell nummer 2.



Figur 25 Principiell modelluppbyggnad i Simulink för modell 2 med två huskroppar.

För samtliga simuleringar har den primära framledningstemperaturens beroende av utomhustemperaturen antagits följa profilen för Malmö och visas i Figur 26.



Figur 26 Antagande gällande primär framledningstemperatur som funktion av utomhustemperatur.

Nedan listas de mest väsentliga antaganden och begränsningar som gjorts beträffande modellen:

- Huvsväggen modelleras med tre sektioner för att få korrekt dynamik i inomhustemperaturen
- Komponenterna i systemet är hydrauliskt sammanbundna
- Det finns däremot ingen termodynamisk koppling mellan de olika lägenhetsblocken
- Tryckfallet i systemet är proportionellt med volymflödet i kvadrat
- Luft som löser ut modelleras inte
- Temperaturförlusterna från rörledningarna i systemet är flödesberoende, likaså transporttiderna

Att huvsväggen delas upp i tre sektioner innebär att en dynamisk förändring av inomhustemperaturen kan studeras. Uppdelningen av huvsväggen beskrivs mer detaljerat i [19]. Att systemet är hydrauliskt sammanbundet innebär att alla komponenter är sammankopplade och påverkar varandra. Om differenstrycket i systemet blir för lågt, så kommer den eller de minst hydrauliskt gynnsamt placerade lägenhetsblocken att få lägre flöde. Avsaknaden av termodynamisk koppling mellan lägenhetsblocken innebär att temperaturen i lägenhetsblocken inte har någon påverkan på varandra. Utan denna förenkling skulle modellen bli avsevärt mycket mer komplicerad och kräva längre simuleringstider. Konsekvensen av detta antagande är att om radiatorflödet är ojämnt fördelat i systemet så kommer inte inomhustemperaturen i respektive lägenhetsblock vara korrekt då värmeledningen mellan blocken bortses ifrån. Medeltemperaturen i byggnaden

blir dock korrekt. Dessutom blir avsaknaden av värmeledning endast tydlig vid ojämna flöden under lång tid eftersom värmeledningen är mycket långsam.

Då inverkan av en förändrad primär framledningstemperatur studeras sker förändringen i samma ögonblick som elavbrottet infaller. Självfallet skulle det inte gå till så i verkligheten. Dock har detta mindre praktisk betydelse när framledningstemperaturen förändras. Vi vill framför allt se den långsiktiga effekten av att ändra framledningstemperaturen.

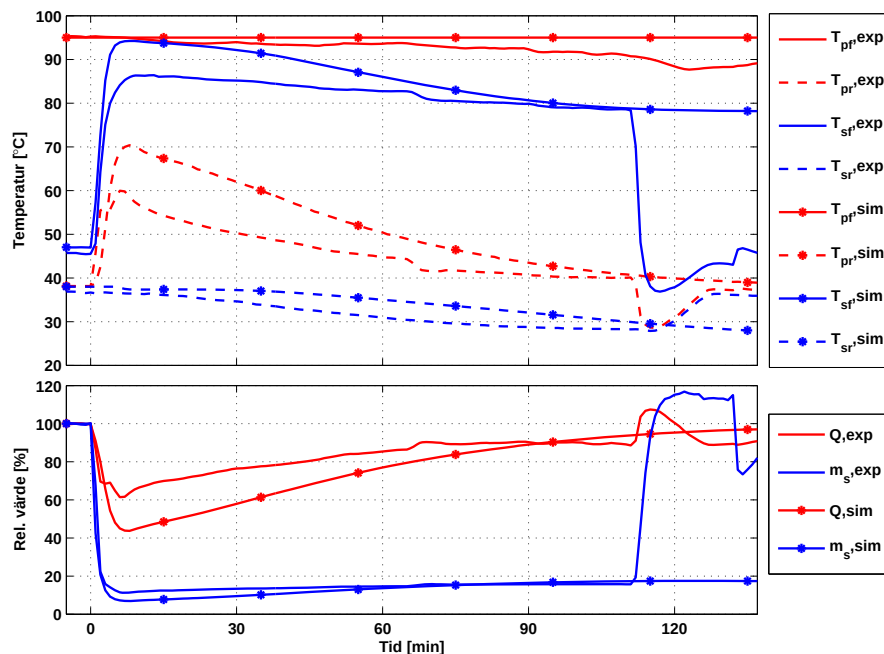
I hydrauliska system antas tryckfallet, vid fullt utvecklad turbulens, vara proportionellt mot volymflödet i kvadrat. Vid laminärt flöde är förhållandet däremot linjärt. Detta tas inte hänsyn till i modellen av två anledningar. Dels har det visat sig att man knappast får laminära flöden ens vid självcirkulation, dels så blir skillnaden relativt liten i absoluta tal om man räknar turbulent istället för laminärt. Dessutom blir det beräknade tryckfallet större om man räknar turbulent än om man räknar laminärt. Det innebär att man kan vara säker på att man inte underskattar tryckförlusterna och därmed får för hög självcirkulation. En annan faktor som påverkar strömningsförhållandena vid självcirkulation är det faktum att luftens löslighet i vatten minskar vid ökande temperatur. Om luft löser ut stiger den i systemet och lägger sig i de högsta punkterna. Genomströmningsarean minskar då vilket innebär ökat strömningsmotstånd. Effekten av detta är osäker och ingår inte i modellen.

Två effekter som tas hänsyn till i modellen är temperaturförluster och transporttider i rörsystemet. Då dessa två är flödesberoende kan de normalt bortses ifrån vid simulering av ett radiatorsystem vid normal drift eftersom de blir mycket små. Vid självcirkulation är de däremot av större betydelse.

RESULTAT FRÅN SIMULERINGAR

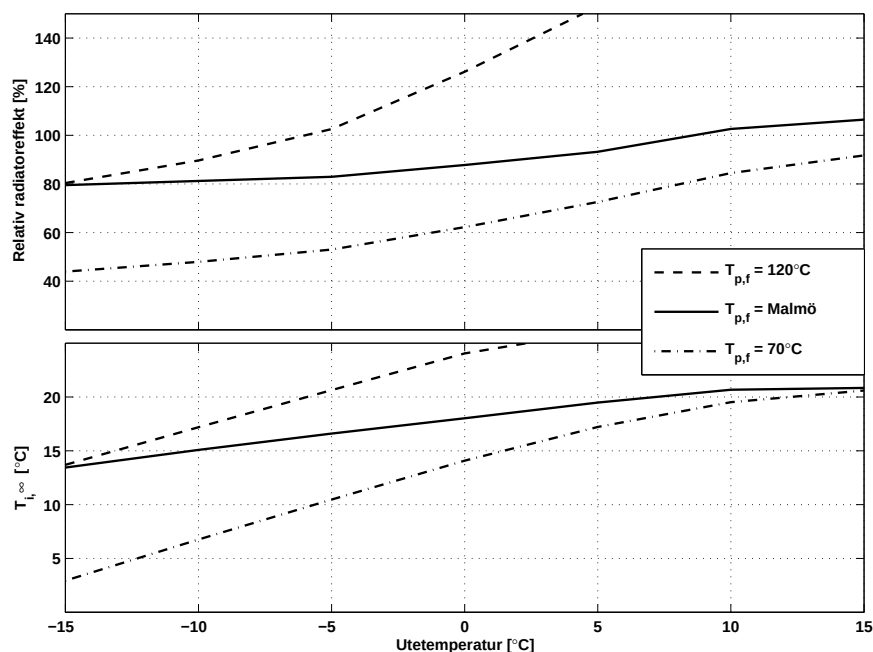
Simuleringarna är utförda för både modell nummer 1 och modell nummer 2. Den relativa värmelasten vid varierande utomhustemperatur har simulerats, liksom inverkan av en förändrad primär framledningstemperatur samt resulterande genomsnittligt utkylningsförlopp för fastigheterna.

Modellerna är anpassade för att simuleringsmässigt representera testobjekten på Cedergatan respektive Delsjögatan. Resultaten från simuleringarna gäller för konstanta utomhustemperaturer, något som inte förekommer i verkligheten. Byggnadernas reglering av värmetillförseln beror bland annat på aktuell utomhustemperatur samt tidigare utomhustemperaturer (beroende på dämpning av utomhustemperaturen). Systemens exakta egenskaper, d.v.s. resulterande inomhustemperatur, returtemperatur, flöde och effekt beror på systemets fysiska egenskaper. Att efterlikna ett specifikt testobjekt i detalj skulle därför bli mycket tidsödande och knappast meningsfullt. Överensstämmelsen mellan modellen och verkliga objekt blir ändå mycket god, i synnerhet vid en stationär betraktelse, d.v.s. när temperaturer och flöde svängt in sig på jämn nivå. Figur 27 visar en jämförelse mellan modell nummer 1 och byggnaden på Cedergatan.

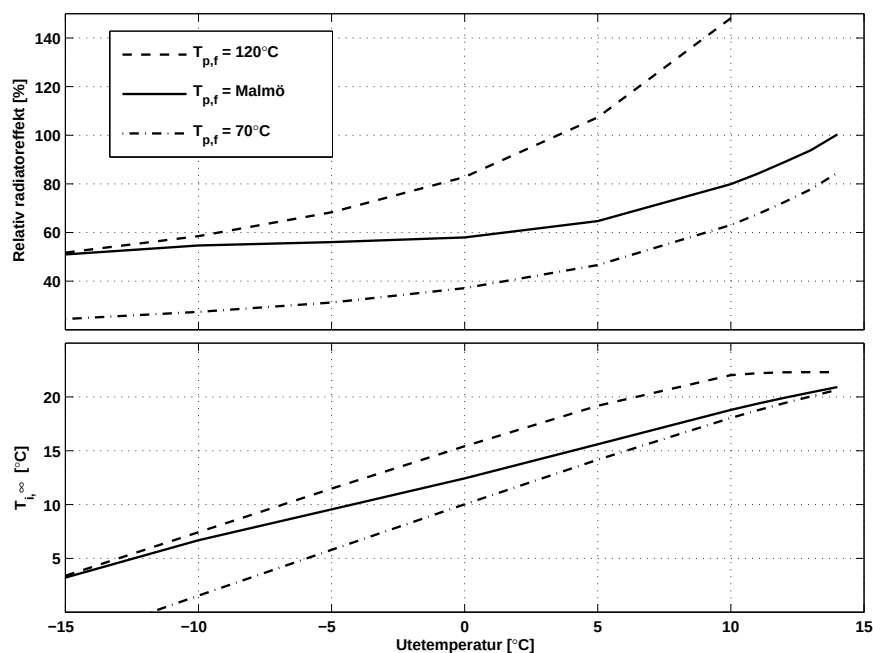


Figur 27 Jämförelse mellan testresultat från huset på Cedergatan och simulering av modell 1.

I Figur 28 och Figur 29 visas resultat av simuleringar för modell 1 respektive 2 vid olika utomhustemperaturer. I figurerna visas i de övre diagrammen den radiatorlast som uppnås tack vare självcirkulation, relativt den ursprungliga, vid ett elbortfall. I de undre diagrammen visas vilken balanstemperatur ($T_{i\infty}$), den inomhustemperatur som råder efter ett oändligt långt elbortfall, som erhålls. Möjligheten att påverka självcirkulationen genom en höjd primär framledningstemperatur (T_{pf}) har också undersökts för varje simulerad utomhustemperatur. Framledningstemperaturen har dels höjts till 120°C (vilket innebär den högsta temperatur som kan tillåtas i de flesta fjärrvärmesystem), dels sänkts till 70°C.



Figur 28 Simuleringsresultat av relativa radiatorlaster och balanstemperatur, $T_{i,\infty}$, för modell 1.

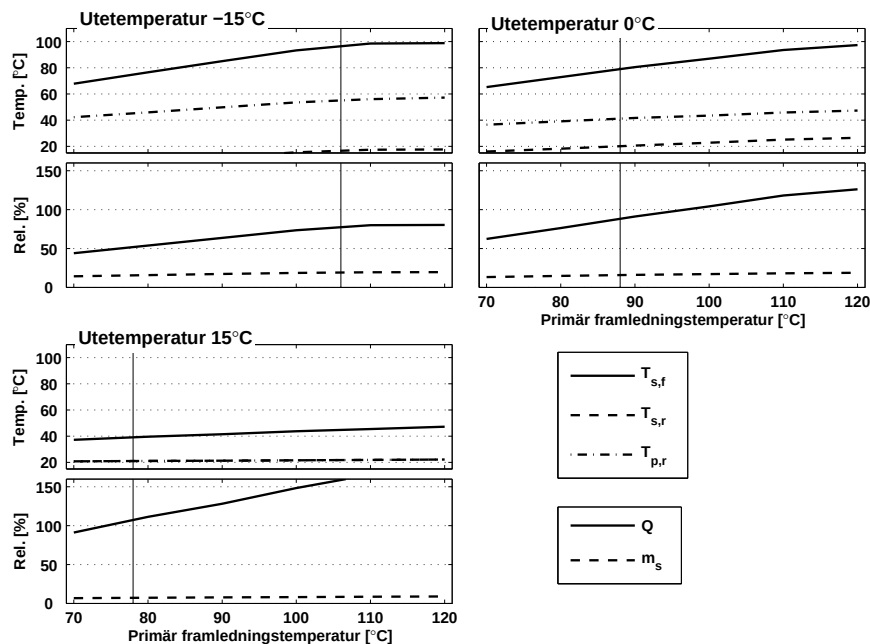


Figur 29 Stor Simuleringsresultat av relativa radiatorlaster och balanstemperatur, $T_{i,\infty}$, för modell 2.

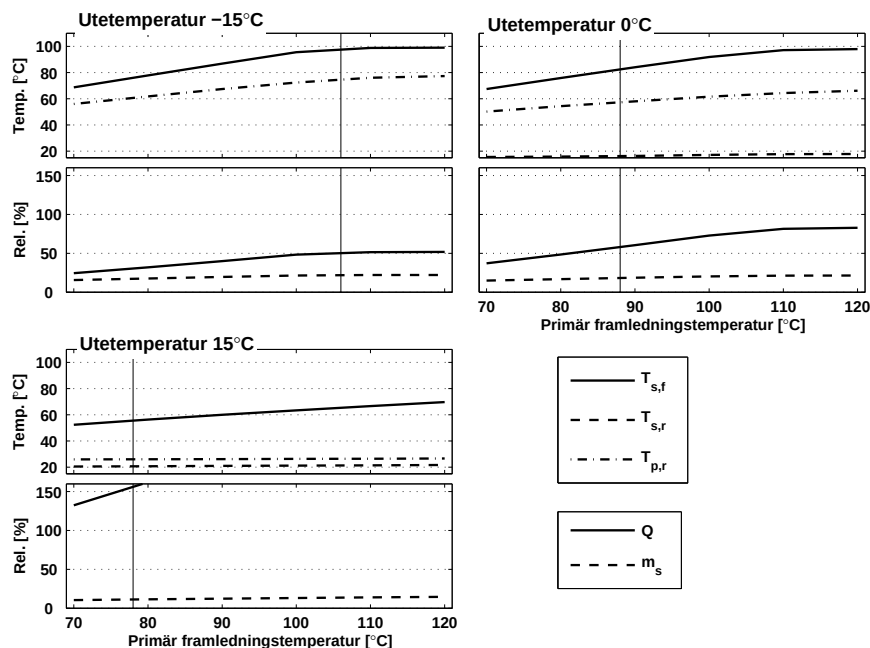
Som synes är modell nummer 1 betydligt mer gynnsam för självcirkulation än modell nummer 2. För byggnaden i modell 1 erhålls alltid drygt 80 procent av effekten efter ett elavbrott vid bibehållen framledningstemperatur. Detta innebär att inomhustemperaturen aldrig kommer att understiga 13°C då framledningstemperaturen följer antagandet för

Malmö. Motsvarande inomhustemperatur klaras för modell 2 vid en utetemperatur på ungefär +2°C. Då det gäller inverkan av primär framledningstemperatur på inomhustemperaturen innebär en höjning av framledningstemperaturen till 120°C vid en utomhustemperatur på -5°C att inomhustemperaturen höjs med ca 4°C till drygt 20°C för modell 1. Resultatet för inomhustemperaturens dynamiska förlopp kommer att redovisas längre fram.

En mer detaljerad redovisning av inverkan av en varierande framledningstemperatur visas i Figur 30 för modell nummer 1 och i Figur 31 för modell nummer 2. I dessa figurer är framledningstemperaturen varierad i intervallet $70^{\circ}\text{C} < T_{pf} < 120^{\circ}\text{C}$ för tre driftsfall: $T_{ute} = -15^{\circ}\text{C}$, 0°C och $+15^{\circ}\text{C}$. I figurernas övre diagram är fram- och returledningstemperaturerna för radiatorsystemet samt primär returledningstemperatur plottade och i de undre diagrammen återfinns relativ effekt samt relativt radiatorflöde vid självcirculation. Den vertikala heldragna linjen i varje diagram visar tillståndet för normal framledningstemperatur vid aktuell utomhustemperatur.



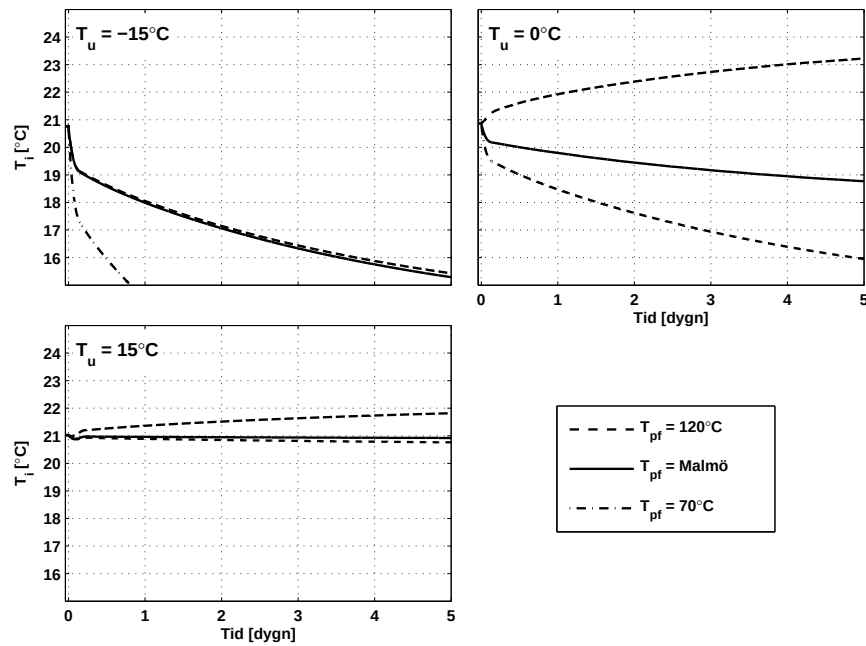
Figur 30 Radiatorsystemets temperaturer samt relativ avgiven effekt och radiatorflöde vid olika primära framlednings- och utomhustemperaturer för modell 1.



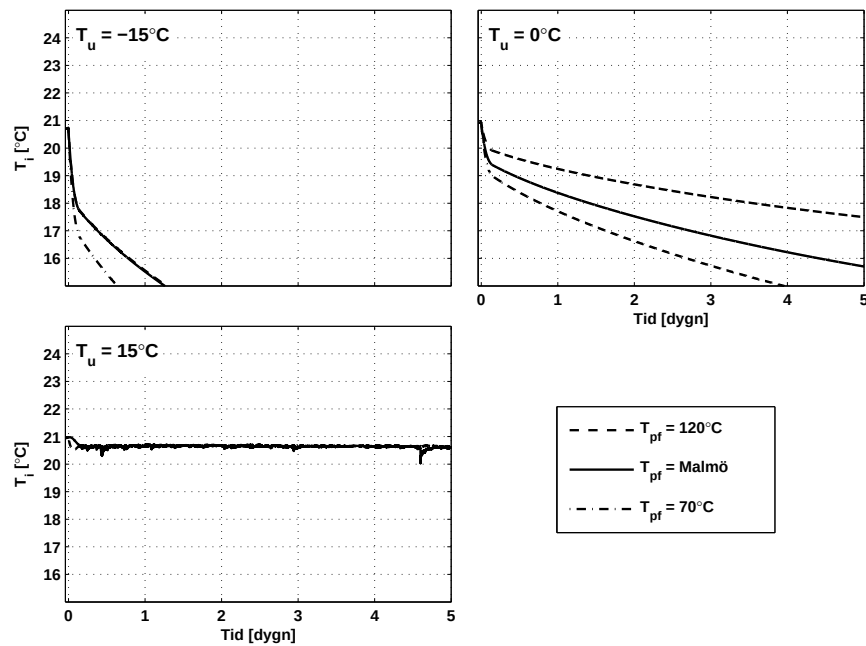
Figur 31 Radiatorsystemets temperaturer samt relativ avgiven effekt och radiatorflöde vid olika primära framlednings- och utomhustemperaturer för modell 2.

Som synes i Figur 30 och Figur 31 finns ett tydligt samband mellan primär framledningstemperatur och relativ radiator effekt. Dock påverkas massflödet i radiatorsystemet inte i lika stor omfattning av den primära framledningstemperaturen, utan förändringen av avgiven radiator effekt kan främst förklaras med förändringen av temperaturnivåerna i radiatorsystemet (avkylningen i systemet ökar).

I Figur 32 och Figur 33 visas inomhustemperaturens dynamiska förlopp. Den genomsnittliga inomhustemperaturen illustrerats för simuleringar med framledningstemperaturen 70°C, normal för Malmö och 120°C för utomhustemperaturerna -15°C, 0°C och 15°C. Med genomsnittlig inomhustemperatur menas här ett medelvärde av inomhustemperaturerna i modellens lägenhetsblock. Man ser tydligt att inomhustemperaturens förändring är ett mer eller mindre långsamt förlopp beroende på utomhustemperaturen och husets termiska tröghet, vilken i sin tur beror på husets isoleringsgrad och massa. För modell nummer 1 tar det över 3 dygn innan inomhustemperaturen understiger 16°C vid en utomhustemperatur på -15°C och normal primär framledningstemperatur. Resultatet av simuleringarna visar att inomhustemperaturen sjunker betydligt snabbare för modell nummer 2 då denna bibehåller betydligt mindre andel av ursprunglig effekt vid elbortfall. Vid en utomhustemperatur på -15°C sjunker inomhustemperaturen till under 16°C på mindre än ett dygn. I Figur 32 och Figur 33 syns även vikten av att bibehålla och eller eventuellt höja primär framledningstemperatur i fjärrvärmenätet, då en sänkt framledningstemperatur påverkar inomhustemperaturen kraftigt negativt, särskilt vid låga utomhustemperaturer.



Figur 32 Inomhustemperaturens dynamiska förlopp för olika utomhustemperaturer och primära framledningstemperaturer för modell 1.



Figur 33 Inomhustemperaturens dynamiska förlopp för olika utomhustemperaturer och primära framledningstemperaturer för modell 2.

Avslutningsvis kan man konstatera att simuleringarna kan utgöra ett bra komplement till verkliga försök. Modellerna visar god överensstämmelse med verkligheten. De utförda

simuleringarna visar den potential att främja självcirkulation som finns i att höja framledningstemperaturen i fjärrvärmenätet.

Andra möjliga användningsområden för datormodellen är exempelvis att "flytta huset" till ett annat geografiskt läge genom att variera utomhustemperatur, radiatorsystemets temperaturkurva och dimensionering samt husets värmeförluster. Modellen kan även byggas ut för att användas till studier av luftburen värme.

AVSLUTANDE DISKUSSION OCH FORTSATTA STUDIER

De hittills genomförda studierna, genom såväl datorsimuleringar som fältförsök i byggnader, visar att det generellt finns goda möjligheter att överföra värme från fjärrvärmenätet till anslutna värmesystem genom självirkulation i händelse av ett långvarigt elavbrott. Datorsimuleringar visar att det finns möjlighet att öka förmågan för en byggnad att uppta effekt genom att höja framledningstemperaturen i fjärrvärmenätet. Då de grundläggande fysikaliska förutsättningarna för självirkulation är lika överallt är det genom undersökningar av olika typer av byggnader, radiatorsystem och enskilda komponenter möjligt att avgöra potentialen för självirkulation för en byggnad oavsett geografiskt läge.

Vissa oklarheter finns dock, exempelvis angående hur reglerventiler fungerar i händelse av ett elavbrott. Det förekommer både att ventiler stannar i sitt läge och att de stänger. Detta måste utredas vidare i det fortsatta arbetet. I vissa större byggnader når inte självirkulationen hela systemet, även om försöken visar tecken på att självirkulationen tilltar efter hand. Laboratieförsök kommer förhoppningsvis att ge viss klarhet i om värmen kan sprida sig i helt eller delvis stillastående vatten. Funktionen hos luftburen värme och ventilation kommer att studeras vidare i det kommande arbetet.

Då det gäller ventilernas funktion är det ur fjärrvärmenätets synpunkt viktigt att inte ett alltför stort primärflöde passerar genom en värmeväxlare genom att exempelvis reglerventilen öppnas antingen manuellt eller automatiskt. Ett alltför stort primärflöde innebär att det behövs onödigt mycket energi för att upprätthålla differensstrycket i fjärrvärmenätet. Fjärrvärmenätets potential som värmesänka för ett kraftvärmeverk minskar även vid alltför stor öppningsgrad i primärventiler då den primära returtemperaturen höjs.

En uppskattning av nödvändigt värmeunderlag för att upprätthålla driften av ett kraftvärmeverk ska göras. Detta är ofta en grundläggande förutsättning för att upprätta ö-drift av elnätet. Vid elavbrott minskar värmeunderlaget inte endast till följd av ej fullständigt utvecklad självirkulation utan även då bortfallet av tappvarmvattenlast är betydande.

Vi anser att det är fullt möjligt att genom det fortsatta arbetet kunna sammanställa rekommendationer till fastighetsskötare och värmeleverantörer om hur ett värmesystems potential för att ta emot värme vid elavbrott kan förbättras. Även genom systematiska undersökningar av befintliga systems funktion i kombination med datorsimuleringar kan vägledande rekommendationer utföras något som kan vara underlag för dimensionering och projektering av värmesystem i särskilt känsliga byggnadstyper. Genom att avgöra i vilken utsträckning en byggnad kan erhålla värme genom självirkulation vid ett elavbrott är det även möjligt att avgöra vilka typer av byggnader där förutsättningarna är små och där det därför kan vara intressant att installera ett litet reservkraftverk för att möjliggöra mottagande av värme.

REFERENSER

- [1] Dahlroth, B., *Säkrare Värmeförsörjning! Tillstånd, Förbättringsmöjligheter, Beredskapsåtgärder*, Värmek, 2007.
- [2] Energimyndigheten, *Värmeförsörjning vid långvariga elavbrott*, Rapport EB 1:1998, 1998.
- [3] Energimyndigheten, *Kommunernas värmeberedskap. Förberedelser och lösningar för värmeförsörjning i kris*, Rapport ET 2001:38, 2001.
- [4] Energimyndigheten, *Sårbarhet hos fjärrvärmeförsörjning med tonvikt på känslighet för elavbrott*, Rapport ER 2005:31, 2005.
- [5] Energimyndigheten, *Stormen Gudrun och uppvärmningen. Erfarenheter från elavbrott med inriktning på uppvärmning av byggnader*, Rapport ER 2005:33, 2005.
- [6] Energimyndigheten, *Kunskapsläget inom småskalig kraftvärmeproduktion och eloberoende värmesystem*, Rapport ER 2006:29, 2006.
- [7] Energimyndigheten, *Hur trygg är vår energiförsörjning? En översiktlig analys av hot, risker och sårbarheter inom energisektorn år 2006*, Rapport ER 2007:06, 2007.
- [8] Energimyndigheten, *Fjärrvärme vid ö-drift*, Rapport ER 2007:13, 2007.
- [9] Energimyndigheten, *Helhetssyn för Elförsörjningens säkerhet och beredskap (HEL-projektet)*, hämtad från:
[http://www.energimyndigheten.se/WEB/STEMFe01e.nsf/V_Media00/C12570D10037720FC12571250028BA41/\\$file/helslut.pdf](http://www.energimyndigheten.se/WEB/STEMFe01e.nsf/V_Media00/C12570D10037720FC12571250028BA41/$file/helslut.pdf), 2007-10-03
- [10] Fischer, G. – Molin, S., *Istormen i Kanada*, Totalförsvarets forskningsinstitut, FOI, Användarrapport FOI-R--0103--SE, 2001
- [11] Frost, C – Barck-Holst, S – Ånäs, P – Lökvist Andersen, A-L, *Acceptabla elavbrott? Fyra strategier för säker elförsörjning*. Totalförsvarets Forskningsinstitut, 2004.
- [12] Gummérus, P, *Analys av konventionella abonnentcentraler i fjärrvärmesystem*, doktorsavhandling, Institutionen för Energiteknik, Chalmers tekniska högskola, 1989.
- [13] Hjorthol, E. M., *Optimization of design values in district heating substations by system simulation*, doktorsavhandling, Institutt for Varme-, ventilasjons- og sanitaerteknikk, Norges tekniske høgskole, Trondheim, Norge, 1990.
- [14] Häggbom, S. – Nylund, P-O., *Värt att veta om vattenburen värme*, Rapport R42:1989, Byggeforskningsrådet, 1989.

- [15] Johansson, P-O. – Ljunggren, P., Wollerstrand, J., *Modelling Space Heating Systems Connected to District Heating in Case of Electric Power Failure*, SIMS 2007 (International Conference of Scandinavian Simulation Society), Göteborg.
- [16] Krisberedskapsmyndigheten (KBM), *Krishantering i stormens spår*, dnr 0257/2005, www.krisberedskapsmyndigheten.se
- [17] Krisberedskapsmyndigheten (KBM), *Samhällets krisberedskap Förmåga 2006/2007*, dnr 0027/2007, www.krisberedskapsmyndigheten.se
- [18] Ljunggren, P., *Fjärrvärmelast vid elavbrott*, Energivetenskaper, Lunds Universitet, 2006.
- [19] Ljunggren, P., *Optimal och robust drift av fjärrvärmecentraler – Avkylning och egenskaper vid elavbrott*, Licentiatavhandling, Energivetenskaper, Lunds Universitet, 2006.
- [20] Länsstyrelsen, Stockholms län, *Säkerheten i Stockholms läns Fjärrvärmenät*, december 2004.
- [21] Paulsson, G. – Elvin, H. – Theorell, A., *Värme, ventilation och sanitet*, Bokförlaget Natur och Kultur, Stockholm, 1949.
- [22] Persson, T., *District Heating for Residential Areas with Single-Family Housing*, doktorsavhandling, Institutionen för Värme- och Kraftteknik, Lunds tekniska högskola, 2005.
- [23] Petersson, S. – Nyberg, B-E., *Funktion hos 1-rörs radiatorsystem – Avkylning, komfort och stabilitet*, Rapport FoU 2003:95, Svensk Fjärrvärme, 2003.
- [24] Proposition, *Förändrad omvärld – omdanad försvar*, prop. 1998/99:74
- [25] Riksrevisionen, *Statens insatser för att hantera omfattande elavbrott*, Rapport RiR 2007:17, Stockholm, 2007.
- [26] Socialstyrelsen, *Isstormen i östra Kanada januari 1998*, SoS-rapport 2000:09
- [27] Statens offentliga utredningar, *Säker elförsörjning*, SOU 1984:69.
- [28] Statens offentliga utredningar, *Hot- och riskutredningen*, SOU 1995:19.
- [29] Statistiska centralbyrån, SCB, *Energistatistik för småhus, flerbostadshus och lokaler 2005*, Rapport EN 16 SM 0604, 2006.
- [30] Thörnqvist, I. – Sandberg, E., *VIK: Värmeförsörjning i kristid*, Statens Energiverk, 1990.

Muntliga referenser

- [31] Bergqvist, O., TAC, samtal 2006-05-15
- [32] Björkland, U., Belimo, samtal 2006-05-15
- [33] Cedergren, J., Diana Control, samtal 2006-02-09
- [34] Ehrlén, L, Växjö Energi AB, samtal 2006-09-27.
- [35] Johannesson, T., E.ON Elnät/Drift, föredrag 2006-05-17 samt samtal 2006-05-30.
- [36] Stål, J-P, Beredskapssamordnare, Malmö stad, föredrag 2006-05-17.

[37] Svensson, R., Siemens, samtal 2006-05-15

Internet

[38] SABO – de allmännyttiga bostadsföretagens organisation, www.sabo.se, hämtad 2007-10-08.

BILAGA A

Här följer en lista som, punkt för punkt, beskriver förfarandet vid fältförsöken:

1. Montering av utanpåliggande temperaturgivare på primärvattnets fram och returledning för radiatorväxlaren samt anslutning och on-line loggning av temperaturerna.
2. Eventuell montering av temperaturgivare för fördelningsmätning i radiatorsystemet.
3. Avstängning av primärflöde till tappvarmvattenkretsen.
4. Avläsning av primärflöde på anläggningens debiteringsmätare.
5. Återöppnande av primärvatten till tappvarmvattenkretsen.
6. Låsning av reglering av primärvatten till radiatorväxlaren.
7. Återupprepning av punkt 2-4 för kontroll av primärflöde.
8. Avstängning av cirkulationspump till radiatorsystemet.
9. Kontrollera att sekundär framledningstemperatur stiger.
10. Återupprepning av punkt 2-4 för kontroll av primärflöde.
11. Mätning/uppskattning av fördelning av värme i värmesystemet.
12. Väntan tills sekundär fram och returledning har stabiliserats.
13. Återupprepning av punkt 2-4 för kontroll av primärflöde.
14. Start av cirkulationspumpen till radiatorsystemet.
15. Vänta till sekundär framledningstemperatur har återställts till ungefär samma nivå som innan försöket startades.
16. Återställning av primärvattenreglering till radiatorväxlaren.
17. Kontroll att sekundärtemperaturerna återgår till normal nivå.
18. Avinstallation av temperaturgivare i fjärrvärmecentralen.